This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

TRANSPORTATION LIBRARY
TG 400 F57
A 758,321 DUPL

M Cachelet.

1855

MÉMOIRE

SUR LES

PONTS SUSPENDUS

AVEC CABLES

EN RUBANS DE FER LAMINÉ.

Par MM. Eugène FLACHAT et Jules PETIET.

(Extrait des Annales des Ponts et Chaussées.)

PARIS.

CARILIAN-GŒURY ET Vᵒᵉ DALMONT,

LIBRAIRES DES CORPS ROYAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

QUAI DES AUGUSTINS, Nos 39 ET 41.

1842.

UNIVERSITY OF MICHIGAN LIBRARY

475 FLACHAT et PETIET. — Mémoire sur les ponts suspendus avec câbles en ruban de fer laminé. — Paris, Carilian-Goeury, 1842, in-8, br. c., 62 pp., 3 planches pliées h. t. 15 fr.

MÉMOIRE

SUR

LES PONTS SUSPENDUS

AVEC CABLES

EN RUBANS DE FER LAMINÉ.

PARIS. — IMPRIMERIE DE FAIN ET THUNOT,
IMPRIMEURS DE L'UNIVERSITÉ ROYALE DE FRANCE,
rue Racine, 28, près de l'Odéon.

MÉMOIRE

SUR LES

PONTS SUSPENDUS

AVEC CABLES

EN RUBANS DE FER LAMINÉ.

Par MM. Eugène FLACHAT et Jules PETIET.

(Extrait des Annales des Ponts et Chaussées)

PARIS.

CARILIAN-GOEURY ET Vor DALMONT,

LIBRAIRES DES CORPS ROYAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

QUAI DES AUGUSTINS, Nos 39 ET 41.

1842.

TRANSMIS A L'ACADÉMIE

Transportation
Library
TG
400
.F57

10/W/37
Transports.

MÉMOIRE

SUR

LES PONTS SUSPENDUS

AVEC CABLES

EN RUBANS DE FER LAMINÉ.

7-4-7-7

EXPOSÉ.

Vers la fin de l'année 1834, M. Muel Doublat, propriétaire des forges d'Abainville, fit exécuter par l'un de nous une passerelle suspendue pour réunir deux parties de son établissement séparées par le bief qui alimente son usine, Pl. 25, *fig.* 1 et 2.

On employa, pour la suspension, des rubans en fer laminé, réunis par des boîtes en fonte. Ce système, ayant parfaitement réussi, fut l'objet d'un brevet d'invention délivré à M. Muel.

Cette première application fut peu connue; nous en proposâmes cependant d'autres, au nom de M. Muel, pour la construction de plusieurs passerelles dont l'exécution fut ajournée.

En 1839, les ingénieurs du chemin de fer de Paris à Saint-Germain se montrèrent disposés à en faire usage au pont suspendu qu'ils devaient construire au-dessus de leur gare d'arrivée à Paris, dans le prolongement de la rue de Stockholm. Le conseil général des ponts et chaussées eut alors connaissance du système, et il en aurait sans doute autorisé l'application; mais il repoussa en principe l'exécution d'un pont suspendu d'une grande portée dans une des rues de Paris et sur un point où la curiosité publique pouvait rassembler la foule et accumuler

des charges considérables. La compagnie du chemin de fer fit un pont fixe avec trois points d'appui intermédiaires.

Enfin, en 1840, M. Muel entreprit la construction de la suspension du pont de Suresnes. Il traita avec M. Surville, ingénieur des ponts et chaussées, chargé par une compagnie, de l'exécution de ce travail, et assuma sur lui toutes les garanties pour l'épreuve. Nous fûmes chargés par lui de l'exécution.

Nous avons fait à cette époque des expériences sur la résistance des fers en rubans et sur celle des faisceaux et des joints. MM. Jollois et Busche, ingénieurs des ponts et chaussées, y assistèrent et purent ainsi asseoir leur opnion sur ce système.

Dans un mémoire que nous avons adressé, le 13 août 1840, au conseil général, nous avons demandé à être autorisés à substituer des rubans aux fils de fer pour la suspension, en leur faisant supporter une tension maximum de 15 kilogrammes par millimètre quarré.

L'administration autorisa la substitution sous toutes réserves des garanties de l'épreuve et à la condition de ne charger ce fer que de 14 kilogrammes par millimètre quarré.

Grâce à la persévérance et aux sacrifices de M. Muel, grâce enfin à l'esprit éclairé de M. Surville, une application en grand a pu avoir lieu, et, dès à présent, les rubans en fer laminé ont pris rang entre le fer en barre et le fil de fer. C'est un troisième mode qui se présente aux constructeurs des ponts suspendus avec la prétention d'unir à la durée des barres, la sécurité et l'économie du fil de fer. Les descriptions et les considérations que soulève l'examen d'un système nouveau sont développées dans ce mémoire que nous diviserons ainsi :

1° Mode de construction des câbles en rubans de fer laminé et première application à la passerelle d'Abainville ;

2° Description de la suspension du pont de Suresnes. Mode d'assemblage et de montage des câbles ;

3° Perfectionnements indiqués par cette première application en grand ;

4° Résistance des câbles en rubans. — Résumé des expériences ;

5° Comparaison des divers systèmes de câbles de suspension et conclusions.

CHAPITRE Ier.

MODE DE CONSTRUCTION DES CABLES EN RUBANS DE FER LAMINÉ ET PREMIÈRE APPLICATION A LA PASSERELLE D'ABAINVILLE.

Les rubans en fer, dont il est question ici, sont fabriqués au laminoir et servent en général pour cercles de tonneaux et de cuves. Le fer est réduit en lames minces, d'assez grandes longueurs. Les surfaces sont très-polies et brillantes, ce qui est dû à leur passage au spatard, c'est-à-dire entre des cylindres en fonte trempée extrêmement dure, arrosés pendant le travail par un filet d'eau.

Le fer en rubans n'étant passé au spatard qu'à la chaleur rouge sombre, subit une espèce d'écrouissage analogue à l'effet de la filière sur le fil de fer.

En tous cas, le fer réduit en petite dimension est d'une meilleure qualité, et ses défauts, s'il en a, sont faciles à reconnaître, car ils se manifestent toujours sur les surfaces.

Les dimensions qui peuvent se fabriquer sans grandes difficultés varient pour l'épaisseur, de 2 à 5 millimètres ;
pour la largeur, de 25 à 100 millimètres ;
pour la longueur, jusqu'à 15 et 18 mètres.

Les faisceaux sont formés par un certain nombre de rubans superposés. On s'arrange en général pour que l'épaisseur du faisceau soit peu différente de la largeur du fer qui y est employé.

475 FLACHAT et PETIET. — Mémoire sur les ponts suspendus avec câbles en ruban de fer laminé. — Paris, Carilian-Goeury, 1842, in-8, br. c., 62 pp., 3 planches pliées h. t. 15 fr.

MÉMOIRE

SUR

LES PONTS SUSPENDUS

AVEC CABLES

EN RUBANS DE FER LAMINÉ.

Suspension en rubans de la passerelle d'Abainville. — La passerelle d'Abainville, Pl. 25, *fig.* 1, est le point de départ du nouveau système de câbles. C'est ce qui nous a engagés à y consacrer ici quelques détails.

La distance entre les points d'appui est de $40^{m}.30$. La flèche principale est de $3^{m}.35$ (soit $\frac{1}{13}$ environ). Les tiges sont écartées de $1^{m}.00$ d'axe en axe ; elles sont attachées directement aux boîtes en fonte formant les joints du câble.

Il y a de chaque côté un seul câble composé de onze feuilles de fer de $0^{m}.00225$ d'épaisseur sur $0^{m}.027$ de largeur. Le faisceau a une hauteur de $0^{m}.025$. La longueur des fers correspond à onze espaces ; elle est donc d'un peu plus de $11^{m}.00$. Chaque boîte reçoit un ruban qui finit et un autre qui commence. Ces boîtes sont en fonte et d'une seule pièce. L'attache de chaque ruban se fait en repliant son extrémité sur elle-même et sur un petit goujon dont la place est réservée dans la fonte, *fig.* 3. Le serrage des rubans contre la fonte est en outre assuré au moyen d'un coin elliptique qui est chassé au milieu du faisceau en traversant la boîte par un trou central ménagé à cet effet.

La tête de la tige de suspension pénètre dans la partie inférieure de la boîte et y est attachée par un petit boulon avec goupille. Le joint en fonte a donc un double but, celui de réunir le faisceau et de servir d'attache à la tige.

Pour confectionner le câble, les boîtes en fonte ont été enfilées par l'extrémité. Pour les poser définitivement, on a commencé par replier le ruban qui finissait ; puis la boîte a été ramenée et serrée contre ce ruban à grands coups de maillet. Le ruban qui commençait a été replié après avoir été engagé dans la boîte, puis enfoncé à sa place de manière à ce que les parties extrêmes traversées par la goupille s'appuient bien de part et d'autre contre la boîte en fonte. Ceci fait et en dernier lieu, on a enfoncé le coin intérieur.

CHAPITRE II.

DESCRIPTION DE LA SUSPENSION DU PONT DE SURESNES, MODE D'ASSEMBLAGE ET DE MONTAGE DES CABLES.

Description générale du pont. — Le pont de Suresnes, Pl. 26, *fig.* 1 et 2, construit par M. Surville, ingénieur des ponts et chaussées, se compose de trois travées de plancher. Les deux piles en rivière sont espacées de 63^{m}.00 d'axe en axe; le débouché total entre les culées est de 150.^{m}00. La travée principale a 63^{m}.00 d'ouverture et 6^{m}.30 de flèche. Les travées latérales ont une demi-corde principale du côté des piles de 34^{m}.00 et une flèche de 7^{m}.80; la distance des points d'appui de ces travées latérales est de 45^{m}.50.

Le plancher se compose d'une voie pour deux voitures. . .	5^{m}.00
Et de deux trottoirs.	1^{m}.66
Largeur totale entre les parapets.	6^{m}.66

Les chaînes de chaque travée leur sont spéciales et s'attachent immédiatement à la maçonnerie. Ainsi, les câbles contournent le haut des piles et viennent s'amarrer dans le pied des maçonneries à 1^{m}.00 au-dessus de l'étiage.

Ces piles doivent donc résister à l'effort de renversement se manifestant par le chargement d'une seule travée.

Nous ne donnons aucun détail de la construction des maçonneries, du plancher, des abords; nous étudierons seulement la suspension, les tiges, les amarres dont nous nous sommes spécialement occupés.

La suspension se compose d'un seul câble de chaque côté. Ainsi, pour le pont entier, il y a six câbles seulement, deux par travée. Chaque câble est d'une seule pièce sur toute la longueur et règne sans interruption jusqu'au fond de la culée et jusqu'à la base des piles; il n'y a donc pas de barres d'amarre.

La tension à l'épreuve des câbles de la travée du milieu devait être, suivant le travail soumis à l'administration, de. . . . . 182 825 kilog.
Et pour la travée de rive de. 170 347
D'après l'autorisation accordée de faire supporter 14 kilogrammes par millimètre quarré au moment de l'épreuve, la section des câbles devait être pour la travée du milieu 13060 mill. qu., et pour un seul 6530 mill. qu.
Pour la travée de rive. . 12168, 6084

La section réelle est pour chaque câble de la travée :

Du milieu de $0^{m}.081 \times 0.083 =$ . . . . . 6723 mill. quarr.
Et pour celle de rive $0^{m}.081 \times 0.077 =$ 6237

L'écartement horizontal des poutrelles est de $1^{m}.40$. C'est l'écartement moyen des joints en fonte ; et comme ces joints reçoivent les tiges de suspension, ils sont plus écartés à mesure que les éléments de la chaîne s'inclinent davantage.

Chaque câble se compose de vingt rubans d'une largeur de $0^{m}.081$. Leur épaisseur moyenne est de $0^{m}.00415$ pour la travée du milieu, et de $0^{m}.00383$ pour celle de rive. La longueur des rubans est de $14^{m}.00$ à $15^{m}.00$, et correspond à la distance de dix joints. Chaque joint sert d'attache à deux rubans qui commencent et à deux qui finissent.

Les joints en fonte, *fig.* 5 à 10, sont en deux parties, leur jonction se faisant suivant la ligne milieu du faisceau.

Le serrage des deux parties de la boîte contre le faisceau et, par conséquent, celui des rubans les uns sur les autres, se fait au moyen de quatre rivets de $0^{m}.02$ de diamètre placés à chaud.

Les deux parties de la boîte sont maintenues rigoureusement en face l'une de l'autre au moyen des tenons de la boîte supérieure qui pénètrent dans un vide correspondant à la boîte inférieure. Ces deux tenons supportent l'effort des deux rubans de chaque côté qui tirent les boîtes en sens inverse.

L'extrémité des rubans, qui doivent s'attacher à la boîte,

est recourbée sur la face verticale de celle-ci. L'angle est arrondi au rayon de $0^m.006$ pour ménager le fer. Celui-ci est retenu solidement à la boîte au moyen de deux petits boulons de fer de $0^m.009$ de diamètre terminés par un taraudage avec écrou et plaque de réunion.

Dans la partie inférieure de la boîte, il existe un vide rectangulaire qui reçoit un tenon en fer destiné à attacher la tige de suspension. Le rebord qui entoure la partie supérieure du tenon, Pl. 25, *fig.* 8, se loge dans une feuillure correspondante, ménagée sur la boîte.

On voit que le système des joints d'attache a été modifié. Les boîtes d'une seule pièce ont été repoussées parce que leur passage autour d'un gros câble est une opération gênante et difficile, et qu'on ne peut faire qu'en ménageant beaucoup de jeu, ce qui rend le serrage presque impossible. On doit ensuite prévoir la rupture de quelques pièces qui devraient alors être faites en deux parties, ce qui ôterait toute harmonie à l'ensemble. Dans la disposition exécutée on a allié l'emploi du fer à celui de la fonte.

Un serrage très-énergique, et réparti sur la surface entière, est produit au moyen de quatre rivets. Ceux-ci touchent immédiatement le faisceau et fatiguent moins la fonte qui leur sert d'intermédiaire que s'ils en étaient éloignés. L'attache des tiges de suspension qui résiste à la traction a été faite également en fer.

La boîte en fonte a été disposée de manière à satisfaire aux diverses conditions qu'elle doit remplir, et l'on a essayé de dissimuler le joint du milieu en ornant la boîte d'une tête de lion ou d'une rosace.

Passage du câble sur les piles. — La disposition du câble, le mode d'attache des tiges de suspension et le mode de construction du garde-corps qui est moisé sur ces mêmes tiges, Pl. 25, *fig.* 4, ont obligé à laisser le câble entier dans un même plan vertical. M. Surville a donc

élargi la travée du milieu de $0^m.14$ de chaque côté, et telle est la dimension de l'écartement des deux câbles croisés sur chaque pilastre.

Dans la partie circulaire de chaque câble qui règne sur $2^m.80$ environ, Pl. 26, *fig.* 11 et 12, il n'a pas été placé de joint, afin de rapprocher autant que possible les deux câbles et de simplifier leur roulement sur le haut des pilastres.

Il importe en effet de faciliter ce mouvement pour ménager à la fois la maçonnerie et même les parties pendantes du câble. Pour cela neuf rouleaux en fonte qui reçoivent le câble, reposent immédiatement sur une barre de fer rivée sur une semelle générale en tôle. Le câble lui-même est préservé par une espèce de croupière en fer garnie de trois embrasses, *fig.* 11 et 12. La plaque générale en tôle repose directement sur la pierre dure et reçoit deux bandes de fer embrassant de chaque côté les $\frac{2}{5}$ de la demi-circonférence. La distance d'axe de ces deux barres courbes est de $0^m.14$.

Le passage de chaque câble sur la culée est disposé d'une manière analogue, *fig.* 19. Un demi-cercle en fer est solidement attaché au dé en pierre et sert de point d'appui à trois rouleaux en fonte soutenant le câble qui est entouré également par une croupière en fer forgé.

Disposition des boucles extrêmes et des amarres.—Les boucles ont été beaucoup renforcées comme on peut en juger par les *fig.* 13, 14 et 15. Trente-six rubans au lieu de vingt entourent le boulon extrême. Sur les vingt rubans composant le faisceau, seize se terminent dans l'intérieur du câble et quatre seulement à la dernière boîte en s'attachant haut et bas. Les rubans qui se terminent dans le cœur du câble se replient deux par deux successivement de haut en bas, puis de bas en haut. La plus grande partie du faisceau, c'est-à-dire les $\frac{16}{20}$, étant accrochée d'une manière symétrique sur le goujon extrême, n'exerce aucun

effort de torsion, effort qui existerait au contraire si les rubans, au lieu de se perdre dans le cœur du faisceau, allaient se terminer à sa partie inférieure. Il pourrait y avoir sur l'ensemble de la boucle, un effort de déversement ou de torsion qui est complétement annulé par la disposition adoptée, celle-ci est, il est vrai, plus compliquée et plus chère.

Les trois dernières boîtes servent à produire l'adhérence du faisceau et ne peuvent pas être considérées comme joints ; dans la dernière, il a été passé un goujon traversant de part en part et destiné à empêcher toute espèce de glissement dans le cas peu probable, du reste, où l'adhérence n'aurait pas été suffisante.

Chaque câble s'appuie à son extrémité sur une plaque en fonte de $0^m.08$ d'épaisseur, *fig.* 13, 14 et 15, garnie de nervures de $0^m.05$ de hauteur. Elle est percée d'un trou rectangulaire dont les dimensions sont calculées pour laisser passer la boucle seule. La première cale extrême est en fonte ; elle est demi-circulaire d'un côté. Toutes les autres cales de remplissage sont en fer forgé. La dernière, qui s'appuie sur la plaque de fondation, est plus épaisse que les autres et est garnie d'un petit rebord qui la maintient forcément à la même place.

La cale demi-ronde en fonte est également garnie de rebords.

Le règlement de la hauteur du câble a été fait en ajoutant des cales simples. La longueur de ce règlement est de $0^m.20$, ce qui laisse une latitude suffisante.

Mode d'assemblage des câbles. — Les fers ont été exécutés aux forges d'Abainville ; ils sont corroyés et fabriqués avec soin. Leur cassure est nerveuse, et ils se plient facilement à froid. Leur épaisseur devait être de $0^m.00415$ pour les câbles de la travée du milieu et de $0^m.000383$ pour ceux des travées de rive. Les épaisseurs moyennes se sont confondues avec ces dimensions, puisque le poids

total a été le même que celui prévu. Seulement il n'y a pas eu identité d'épaisseur ; les différences se sont élevées à $\frac{1}{2}$ millimètre, soit en plus, soit en moins. Afin de compenser ces différences, on a toujours eu le soin de mettre ensemble un fort avec un faible, et, de cette manière, les épaisseurs totales des faisceaux ont été constantes.

Les rubans ont une longueur variant de 15 à 16^{m}.00. Ils ont été fabriqués parfaitement droits.

L'expédition a été faite par bottes de 2^{m}.00 de long ne contenant qu'un seul ruban plié quatre fois sur lui-même au rayon moyen de 0^{m}.25.

Dressage des rubans,—Le dressage s'est fait à froid. Le fer, dans les courbures, n'était nullement altéré. Pour faire disparaître les bosses et ondulations qu'il conservait, il a été nécessaire de le battre à coups de maillet sur de longues tables formées d'un fort madrier.

Peinture des rubans.—Le temps, constamment pluvieux pendant le transport et le dressage, a alors promptement altéré la surface lisse du fer qui s'est couverte de rouille. La peinture a dû être précédée d'un grattage qui a été fait avec soin. Chaque ruban a reçu une forte couche de peinture noire, semblable à celle qui est généralement employée pour le fil de fer. La surface totale de la peinture a été de 1800 mètres quarrés environ.

Classement des rubans.—L'espacement inégal des boîtes de réunion dû à ce que les poutrelles sont également distantes, l'écartement spécial des boîtes sur le haut des piles et la formation des boucles ont nécessité des longueurs variables de rubans. Il en est résulté que chacun d'eux devait avoir sa position. Ils ont donc été classés deux par deux au même numéro et rangés convenablement de manière à ce que l'assemblage du câble fût ensuite facile.

Chantier pour l'assemblage des câbles.—Les câbles ont été construits dans leur forme définitive, *fig*. 3. Nous nous sommes servis, pour toute la guirlande du câble, des pou-

trelles du plancher qui se trouvaient classées sur le terrain. Chaque boîte ou joint correspondait au milieu de l'espace existant entre les poutrelles. Les queues pendantes et les parties courbes sur les piles ont été soutenues par des chantiers spéciaux fixés au sol par des piquets, ainsi que l'indique suffisamment la figure.

La partie cintrée du sommet des piles a dû être faite très-solidement afin de ne pas changer de forme après le pliage des rubans. Ce chantier se composait de trois morceaux de $0^m.25$ d'équarrissage entaillés l'un dans l'autre à tiers de bois et serrés par un boulon. La courbe avait une épaisseur égale à la largeur des fers.

Sur chaque poutrelle ou chantier, on a fixé un tasseau portant une entaille pour recevoir les rubans, *fig.* 4. Cette entaille avait $0^m.12$ de large. La ligne d'axe des cales était reportée à $0^m.04$ de l'une des faces, de manière à réserver sur l'autre face la place d'un coin de serrage.

Placement des rubans sur les chantiers. —Les rubans, après avoir été brossés pour ôter les corps étrangers qui étaient sur leur surface ont été enlevés deux à deux et posés dans les entailles. La place exacte des joints était prise rigoureusement au moyen de règles pliantes sur lesquelles les centres avaient été tracés.

On vérifiait avec soin l'autre extrémité des rubans qui devait être assez longue et correspondre au dixième joint suivant.

Dès que le faisceau était complet dans une entaille, il était serré provisoirement au moyen de coins en bois.

Aux cintres, sur les piles et culées, les rubans ont dû être courbés chacun séparément à coups de maillet, de manière à affecter d'eux-mêmes la courbure qu'ils devaient conserver. Si l'on ne prenait cette précaution, la roideur du ruban produisait une force de ressort qui dérangeait le chantier et empêchait la confection régulière du câble.

Pose des boîtes ou joints.—De chaque côté de l'endroit où il devait y avoir une boîte, on plaçait une bride à clavettes, *fig.* 16 et 20, qui serrait très-fortement les rubans et qui amenait entre eux une juxta-position complète. On plaçait également une bride au milieu de l'espace des deux boîtes, de manière à ce que les rubans fussent tous pareillement tendus et droits.

La boîte en fonte était ensuite mise dans la place qui lui était réservée et serrée solidement au moyen de quatre boulons de montage. Les brides pouvaient alors être enlevées pour être reportées plus loin.

Des riveurs venaient ensuite ; ils remplaçaient successivement chaque boulon de montage par un rivet. Cet atelier se composait de quatre personnes : deux riveurs, un teneur de tas pour soutenir le contre-coup et un enfant pour chauffer les rivets au rouge et les apporter. La rivure a été faite sur la partie supérieure de la boîte ; elle affecte une forme conique légèrement arrondie à la base.

Enfin, un ouvrier était chargé de plier l'extrémité des feuilles sur le côté de la boîte ; il les perçait à froid avec un poinçon, posait les petits boulons et coupait l'extrémité des feuilles en biseau le long de la boîte. Ce travail exigeait beaucoup de soin et d'attention pour que la feuille en se pliant s'appliquât bien contre la fonte. Il a fallu éviter également en perçant les feuilles de les faire fendre. Cette opération du pliage et du perçage est plus facile et plus sûre quand le bout du feuillard ou ruban est long.

Les divers ateliers se suivaient et travaillaient au même câble. Les opérations se résument ainsi :

1° Approche, brossage et mise en place des feuillards ; serrage provisoire dans les entailles des tasseaux (quatre ouvriers);

2° Serrage du câble avec les brides à clavettes ; pose provisoire des boîtes avec boulons de montage (deux ouvriers) ;

3° Rivure des boîtes (quatre ouvriers);

4° Pliage et perçage des feuilles sur les boîtes ; pose de petits boulons d'attache (un ouvrier).

Ce travail, après l'hésitation et la perte de temps inséparables de l'installation, avait fini par se faire très-lestement. Ainsi, en quatre jours, on faisait un grand câble de 100^{m}.00 de long, en employant de onze à douze hommes.

Le câble terminé était sorti des entailles avec des leviers de bois, repoussé sur des chantiers disposés en conséquence et l'on procédait à la confection d'un autre câble.

Confection des boucles. — La construction des boucles extrêmes fait l'objet d'un travail tout à fait distinct.

La boucle d'un câble a toujours été construite après que le corps du câble a été terminé. Chacune a exigé trois jours de travail d'un ouvrier adroit et de son aide. Le chantier se composait uniquement d'un fort madrier, solidement arrêté sur deux pièces de bois. Le vide de la boucle était occupé par un morceau de bois boulonné au madrier et terminé par la pièce de fonte demi-ronde qui devait être mise en place. Le coin en fonte, destiné à conserver à l'ouverture de la boucle la forme rectangulaire, était d'abord présenté et la place de ses argots ménagée dans les deux premières feuilles. Chaque feuille était successivement pliée avec soin et appliquée latéralement, puis son extrémité amincie en biseau très-alongé de manière à se perdre dans le faisceau. Le pliage autour de la boucle se faisait sans coups de marteau et présentait une juxta-position complète des lames l'une sur l'autre.

Transport des câbles. — Le terrain sur lequel on a fabriqué les câbles est à 150.^{m}00 du bord de l'eau. Il a offert l'avantage d'être déjà disposé pour ce travail en permettant d'utiliser le plancher même du pont et un petit bâtiment pour mettre à l'abri les fers et les outils.

Le poids des grands câbles de 100m.00 de long est de 6 600 kilogrammes environ, ce qui fait 66 kilogrammes par mètre courant.

Nous avons eu un moment la pensée de faire le transport par des hommes, il en aurait fallu deux cent cinquante, et par conséquent le concours des soldats aurait été nécessaire. Tout nous fait présumer qu'il nous aurait été accordé ; mais ce système avait plusieurs inconvénients qui nous y ont fait renoncer. Il exigeait la présence de cinq hommes dans une longueur de 2m.00, ce qui eût été gênant. En outre, il fallait employer le même moyen pour l'embarquement des câbles. Le travail devait être forcément interrompu, et, comme cette réunion nombreuse d'individus était difficile à obtenir juste au moment où elle eût été nécessaire, nous avons préféré y renoncer et employer des moyens mécaniques avec un petit nombre d'ouvriers.

Deux moyens ont été appliqués. Par le premier, le câble était placé sur une série de planches, lui servant de patin et reposant sur des rouleaux, *fig.* 17 et 18. Il était tiré au moyen de plusieurs treuils. Ce moyen avait l'inconvénient de présenter des frottements extrêmement considérables.

Les cinq autres câbles ont été fixés sur les essieux de dix-sept paires de roues, laissant entre elles un espace de 6 à 7m.00 moyennement. Le câble était placé de champ de manière à se soutenir parfaitement dans cet intervalle et à pouvoir plier au contraire et tourner horizontalement. L'approche au bord de l'eau était ainsi devenue une opération assez simple. Elle exigeait cependant quinze à vingt ouvriers, tant aux treuils que le long du câble pour guider les nombreuses roues de cet immense chariot. Ce système a été employé jusqu'à l'embarquement complet des câbles sur les bateaux.

La flexion du câble sur plat était assez facile ; on pou-

vait faire tourner la partie droite à des rayons de 8 à 10^{m}.00 sans que le câble fût fatigué. Les feuilles de l'extérieur de la courbe se tendaient beaucoup ; celles de l'intérieur au contraire se courbaient, Pl. 27, *fig.* 10.

Montage des câbles. — Chaque câble a été embarqué séparément sur une file de bateaux attachés les uns au bout des autres ; il a été amené ainsi dans la position convenable pour être enlevé et mis en place.

Les câbles de rive ont été montés les premiers à cause de leur position intérieure sur les piles par rapport aux câbles de la grande travée, Pl. 26, *fig.* 1, 11 et 12.

La première extrémité a été accrochée sur la pile en laissant reposer sur les bateaux et sur terre une partie du câble. La traction qu'il était nécessaire d'exercer était d'environ 2 500 à 3 000 kilogrammes, et il suffisait d'un treuil à double mouvement d'engrenage agissant sur un cordage de 0^{m}.05 de diamètre.

L'accrochage définitif du câble nécessitant une traction double au moins, était fait au moyen de deux treuils placés sur la chaussée au delà de la culée. La tension des deux cordes était d'environ 5 à 6 mille kilogrammes.

Chaque pile a été garnie d'un échafaud de levage différent. Sur l'une d'elles l'échafaud était assez compliqué, Pl. 27, *fig.* 3 et 4. Il était destiné à enlever le câble presque verticalement ; la partie qui devait reposer sur le sommet du pilastre était soulevée le long de celui-ci jusqu'au haut, et là elle était amenée en place par dessus le couronnement et les pierres de selle. La partie pendante du câble se trouvait naturellement amenée dans l'entaille réservée pour elle dans la maçonnerie. Le câble était saisi de chaque côté de la partie circulaire et à environ 2^{m}.00 au delà de la naissance de ce cintre.

Les deux treuils étaient montés sur l'échafaud qui se composait alors d'un plancher solidement fixé sur deux poutres horizontales dépassant la maçonnerie. Ces deux

poutres reposaient au cinquième de leur longueur sur deux châssis fixés à la maçonnerie par de longs boulons. Les treuils étaient placés sur le bout des poutres soutenues par des étais que l'on déplaçait pour faire passer latéralement le câble sur la maçonnerie.

Le second échafaud, *fig.* 1 et 2, ne servait que de point d'appui aux cordages au moyen d'un axe en fer, sur lequel tournaient deux fortes poulies en fonte. Les treuils étaient placés sur des bateaux en rivière.

Pour faire le levage, le câble étendu sur les bateaux était amené jusqu'à ce que son extrémité ne fût plus qu'à 5 ou 6^{m}.00 du pied de la pile. Le grand cordage était couché sur le câble et venait s'attacher à 6^{m}.00 au delà de la partie cintrée, et, par conséquent, à 23 et 24^{m}.00 de l'extrémité. Toute cette longueur de cordage était ensuite liée au câble de 3 en 3^{m}.00 par de bonnes ligatures. En agissant alors sur la corde principale à l'aide du treuil, on enlevait successivement le câble et on l'amenait en long ; son extrémité arrivait ainsi au sommet de la pile : la première ligature d'attache du câble à la corde était défaite ; le câble passait sur la pile et au-dessous des poulies. En continuant ainsi et déliant successivement les ligatures, toute la partie pendante avait surmonté la pile. On avait pris des précautions pour soutenir cette partie pendante à mesure qu'elle dépassait la maçonnerie afin qu'elle ne fléchît pas trop.

Chaque échafaud avait donc son caractère spécial : l'un enlevait le câble verticalement, l'autre le tirait en long seulement.

L'un a été précieux pour le levage de la première extrémité, là où la traction latérale était faible. Il n'a pas été placé sur les deux piles parce que l'on a craint de soumettre les maçonneries à l'effort latéral résultant de la tension totale du câble. Dans la première disposition,

fig. 3 et 4, la maçonnerie ne sert que de point d'appui et ne tend pas à être renversée.

Après le montage et quand les câbles étaient simplement suspendus sans charge, ils présentaient entre les boîtes de nombreux boursouflements de feuilles qui augmentaient de $0^m.04$, $0^m.06$ et même $0^m.08$, l'épaisseur du câble. Tous ces boursouflements provenant des flexions auxquelles le câble avait été soumis, se sont promptement atténués sous le poids des poutrelles et sous celui du plancher. Elles ont complétement disparu sous la charge d'épreuve et le câble ressemble à une longue barre de fer sans solution de continuité.

CHAPITRE III.

PERFECTIONNEMENT INDIQUÉ PAR LA CONSTRUCTION DU PONT DE SURESNES.

Le perfectionnement que l'expérience indique, c'est l'emploi du fer dans la construction des joints, qui, jusqu'ici, comme on l'a vu, ont été construits en fonte : cette substitution offre à la fois plus de sécurité et d'économie.

L'emploi de la fonte a de nombreux avantages ; elle se prête par la facilité du moulage aux formes convenables pour la résistance et pour satisfaire aux conditions du joint de la meilleure manière ; elle facilite aussi l'attache des tiges de suspension.

En outre, elle est parfaitement résistante comme joint du câble, c'est-à-dire comme pièce intermédiaire entre le ruban qui commence et celui qui finit. Ainsi, au pont de Suresnes, lors des épreuves, il n'y a pas eu un seul joint de rompu de manière à permettre la séparation et le glissement des rubans.

Nous avons senti la nécessité de ce préambule afin de ne pas éveiller des craintes sur la solidité du pont de Su-

resnes, où nous avons fait usage de la fonte. Ces craintes ne seraient nullement fondées.

Pendant la confection du câble sur le chantier un certain nombre de boîtes se sont rompues en plaçant les rivets. Par suite de soufflures, goutte froide ou mauvaise qualité, elles ne supportaient pas ce serrage énergique et se séparaient longitudinalement. Quelquefois la boîte, au lieu de porter uniformément sur toute sa largeur, ne touchait que par le milieu et se brisait, quoique étant de très-bonne nature. Cette cause de rupture était du reste facilement évitée par un léger ajustage.

A partir du moment où les câbles ont été mis en place, quelques fissures longitudinales semblables à celles qui avaient eu lieu pendant la construction sur chantier, se sont manifestées. Mais il a été constaté que toutes avaient eu un commencement de rupture que les trépidations du montage et de l'épreuve avaient successivement augmenté.

Comme le joint se trouve armé de fer dans les trois directions, les parties de la boîte ainsi fendues ne peuvent se disloquer et le joint reste intact; il est impossible qu'il se sépare.

Sous l'influence de la première épreuve se sont manifestés, sans accident, de légers défauts dans la fabrication des boîtes. Avec la charge totale, l'effort des deux rubans qui tiraient la boîte d'un côté, pouvait s'élever jusqu'à 10 000 kilogrammes au maximum, et les tenons d'engagement d'une demi-boîte dans l'autre moitié pressaient les mortaises avec une grande force. Dans les boîtes où ces tenons avaient trop de jeu, les rivets ont pris charge avant les tenons en fonte et ont amené des épauffrures sur les angles. La cause de ces fissures provenait donc d'un défaut de moulage par le trop grand amaigrissement des tenons, et sans doute aussi d'un peu d'erreur dans la position respective des noyaux des deux boîtes pour le passage des

rivets. Ces épauffrures n'altéraient en rien la résistance de la boîte puisque les tenons prenaient charge et que c'était eux et non les rivets qui étaient destinés à soutenir cet effort.

Toutes les boîtes ainsi altérées (1) ont été remplacées avec facilité et sans amener dans aucun cas le glissement des feuilles qui, pour un moment, se trouvaient détachées lors de l'enlèvement de la boîte défectueuse. Il a suffi de mettre deux brides à clavette de chaque côté de la boîte; le serrage de ces deux brides développait assez l'adhérence pour empêcher tout retrait des rubans.

Ce remplacement n'a pas été difficile; mais il était coûteux à cause des échafaudages et des sujétions.

Le fer au contraire, par sa nature flexible, est d'un emploi plus sûr.

Mais un joint en fer forgé qui satisferait à toutes les conditions que remplit la boîte en fonte, appliqué au pont de Suresnes, serait très-difficile. Il nous semble même impossible, en restant dans les conditions usuelles, quant au prix et à la facilité d'exécution. Il faut, en effet, qu'un mode de suspension soit très-simple et formé par des éléments à bas prix. C'est une condition fondamentale.

Après de longues recherches, nous avons été amenés à adopter la disposition indiquée, Pl. 27, *fig.* 14 à 17. Elle consiste à enrouler à chaud un fer plat autour du faisceau en lui faisant faire deux tours et un quart ou trois et un quart. Sur la face où se trouvent le commencement et la fin du fer, on perce un ou deux trous et l'on y place un ou deux goujons taraudés qui réunissent les deux parties extrêmes et forment ainsi une frette parfaitement solide.

---

(1) A l'épreuve définitive du mois d'avril 1842, ces épauffrures ne se sont plus manifestées et les boîtes en fonte sont restées complétement intactes.

Avant d'enrouler ce joint on a le soin de serrer le faisceau avec des brides ou autres procédés. La frette elle-même serre encore plus en se refroidissant. Si cependant ce serrage n'était pas encore assez énergique, on pourrait le compléter par de petits coins plats en acier.

La feuille ou les feuilles qui s'attachent aux joints sont repliées par dessus la frette et y sont liées d'une manière invariable par un ou deux goujons taraudés qui ne traversent que la frette et qui n'altèrent en aucune façon le faisceau. On ménage le fer du ruban qui doit être plié à froid en le contournant sur un fer demi-rond qui reste engagé.

Cette disposition est extrêmement simple ; elle n'exige que du fer ordinaire du commerce; les ajustements se bornent à des perçages et taraudages. Elle s'applique aux câbles de toutes dimensions, depuis les plus petits jusqu'aux plus grands.

Nous avons pensé que nous avions résolu le problème et nous avons fait sur ce joint des expériences dont nous donnerons les résultats dans le chapitre suivant. Il a une grande supériorité sur le joint en fonte par sa légèreté, sa solidité et par son économie. Il lui est inférieur comme se prêtant moins à l'ornement et comme ne pouvant servir que difficilement à l'attache des tiges de suspension.

CHAPITRE IV.

RÉSISTANCE DES CABLES EN RUBANS ; RÉSUMÉ DES EXPÉRIENCES.

Nous avons décrit la composition des câbles en rubans; la résistance des lames de fer est uniquement donnée par l'expérience. Celle des faisceaux est liée essentiellement à la constitution des joints.

Résistance des joints. — Le joint est composé d'une boîte en une ou plusieurs pièces entourant le faisceau et

le comprimant ; il est destiné à réunir invariablement un ruban qui commence à un autre qui finit. Il doit satisfaire à trois conditions de résistance :

1° Le ruban doit y être très-solidement attaché ;

2° Le joint est sollicité à distance par deux forces contraires qui tendent à le rompre ;

3° Ces deux forces tendent à ouvrir la boîte.

Les joints du pont de Suresnes, formés en deux parties, rendent plus facile l'analyse des divers modes d'action et de résistance.

Les rubans sont attachés à la boîte en fonte et ne peuvent glisser par l'adhérence même de la boîte, par la roideur du fer qui y est plié à angle droit, et enfin par l'attache de deux petits boulons qui compriment le fer contre la fonte, et qui, en outre, résistent comme goujons et doivent être coupés avant qu'il y ait disjonction.

Le premier mode d'attache est difficile à calculer ; c'est l'expérience surtout qui doit parler ici ; toutefois nous dirons que la disposition indiquée, *fig.* 14 à 17, dans laquelle le ruban est recourbé par-dessus la bride et y est goujonné, offre une entière solidité, pourvu que le fer soit nerveux et qu'il puisse se plier à froid ; ce qui, du reste, est une condition fondamentale, quelle que soit la forme du joint.

Les deux autres modes de résistance se confondent dans les boîtes d'une seule pièce. Dans celles qui sont en deux parties, comme au pont de Suresnes, ils peuvent se distinguer ; c'est la fonte qui, par sa roideur, supporte l'effort de traction des deux rubans agissant à distance, effort qui tend à rompre la fonte transversalement. C'est le fer des quatre rivets qui produit le serrage du câble, l'adhérence de la boîte, en un mot cette espèce d'encastrement qui empêche le déversement.

On admet donc que le joint est encastré sur une de ses

faces et qu'il est sollicité par un effort transversal représenté par la traction des rubans de l'autre agissant sur un levier égal à toute l'épaisseur du faisceau, *fig.* 11. En un mot, c'est un corps encastré soumis à une action transversale, *fig.* 13. La formule de résistance absolue dans ce cas est $PL = R\frac{ab^2}{6}$; dans cette formule, les longueurs sont exprimées en centimètres et les tensions en kilogrammes.

P est le poids qui produirait la rupture,

L est la distance de l'encastrement au point d'application du poids,

b est l'épaisseur dans le sens de l'action du poids,

a est la largeur dans l'autre sens,

R est un coefficient de rupture variant suivant la nature du métal; ce coefficient théorique de rupture est 2 800 kilogrammes pour la fonte et 4 000 kilogrammes pour le fer.

Dans le cas spécial de la résistance des joints,

P est la tension du ruban ou des rubans attachés à une des faces de la boîte;

L est l'épaisseur totale du faisceau dans la boîte,

b est la largeur du fer ou de la fonte composant la bride,

a est l'épaisseur totale des deux parties latérales de la bride.

Pour calculer la dimension d'une bride qui puisse supporter avec toute sécurité la tension maximum exercée par les rubans au moment de l'épreuve, il faut réduire beaucoup le coefficient théorique de rupture R, qui devient alors un coefficient pratique de résistance.

Ainsi, nous supposerons à R une valeur de 1 000 kilogrammes pour le fer, et 300 kilogrammes seulement pour la fonte.

En employant le fer, il nous paraît convenable de

donner à la bride une largeur d'un quart plus grande que l'épaisseur du faisceau (2). On sait que dans le joint, à cause de la présence du ruban qui finit et de celui qui commence, il y a un élément de plus que dans la partie intermédiaire (3).

Pour que l'encastrement existe, il faut que la pression produite par la boîte sur le faisceau soit plus grande que l'effort de déversement, sinon la boîte s'ouvrirait et prendrait la position indiquée dans la *fig.* 12.

L'action de déversement produite par le ruban ou les rubans attachés à l'une des faces de la boîte a pour levier l'épaisseur du faisceau.

Les rivets étant symétriquement placés résistent avec un bras de levier égal à la moitié de la longueur de la boîte.

Ainsi, soit P la traction des rubans, son moment sera $P \times L$; soit T la résistance des rivets, son moment sera

---

(2) Le câble du pont de Suresnes se compose de vingt rubans ayant $0^m.081$ de largeur et $0^m.004$ d'épaisseur. Calculons le joint en fer qui serait nécessaire pour rattacher ensemble deux rubans de chaque côté.

L'épaisseur du faisceau de vingt-deux rubans a $8^c.8 = L$; la section des rubans attachés à la boîte est 648 millimètres quarrés; la tension à l'épreuve sera $648 \times 15^k = 9720^k = P$; la largeur du fer de la bride sera $b = 8^c.8 \times \frac{5}{4} = 11^c$: $R = 1000^k$; on aura donc $a = \frac{6.PL}{Rb^2} = \frac{6 \times 9720 \times 8.8}{1000 \times 121} = 4$ centimètres. Chaque côté aura 2 centimètres et sera formé par trois feuillards de 6 mill. $\frac{2}{3}$ d'épaisseur (*voir fig.* 16 et 17).

(3) Au pont de Suresnes les boîtes en fonte ont leur joint au milieu; la longueur L est donc diminuée de moitié, car l'action de déversement de la boîte étant annulée par les quatre rivets, il reste une tension suivant les rubans qui se transmet parallèlement et de chaque côté au point de jonction des demi-boîtes. La quantité $L = 14$ cent.; $b = 5^c.4 = a$; l'épaisseur moyenne des deux faces $= 4^c.4$; P la tension maximum des rubans à l'épreuve $= 10000$ kil.; on a donc le coefficient de résistance pratique $R = \frac{6.P.L}{a.b^2} = 192$ kilogrammes seulement, c'est-à-dire le quinzième environ de la résistance théorique absolue.

$T \times \frac{b}{2}$; pour qu'il y ait équilibre, il faut que ces deux moments soit égaux et que l'on ait $PL = \frac{T.b}{2}$.

La section des rivets est ainsi facilement déterminée. Quand les boîtes ont à supporter la tige de suspension, il convient d'augmenter leur section de toute celle qui est nécessaire pour porter le plancher (4).

Quand les joints sont d'une seule pièce, ces deux effets se combinent et agissent sur les parois latérales. Le calcul rigoureux de résistance offre alors des difficultés; mais en se donnant la latitude que nous avons indiquée, on peut être parfaitement tranquille sur leur résistance pratique.

L'adhérence qui est produite par le serrage des rivets peut être estimée à 12 kilogrammes en moyenne; ce serait pour les quatre rivets une pression totale de (1 260 × 12 kilogrammes) 15 000 kilogrammes environ; en admettant que le frottement ne soit que le cinquième de la pression, ce serait une force de 3 000 kilogrammes qui s'opposerait au glissement des feuilles l'une sur l'autre. Au moment de l'épreuve, la traction sur les deux rubans attachés à chaque boîte est de 10 000 kilogrammes environ. L'adhérence des trois ou quatre joints suffirait donc pour retenir les rubans; et comme le même ruban passe dans dix boîtes

---

(4) Au pont de Suresnes, les boîtes sont maintenues par quatre rivets; leur tension pour résister au déversement est $T = \frac{2PL}{b}$. On peut admettre que les sections des fers doivent être proportionnelles à leurs tensions. Nous remplacerons donc P par 648, section des rubans attachés à la boîte.

	mill. q.
La section des rivets sera $T = \frac{2.648.88}{140} =$	815
Il faut y ajouter la section de la tige de suspension (diam. $0^m.023$)	424
La surface totale de la section des quatre rivets.	1249

Ce qui donne pour chacun 312 et un diamètre de $0^m.020$.

et que la somme des adhérences serait de 30 000 kilogrammes, il résulte qu'en cas de rupture complète d'un joint, les rubans ainsi détachés par une de leurs extrémités seraient nécessairement retenus par l'adhérence des boîtes et leur autre bout supporterait sans aucun doute la charge d'épreuve. L'adhérence produite par le serrage des joints augmente donc la sécurité et empêche qu'une rupture d'un des joints influe trop sensiblement sur tout le système auquel ce joint appartient.

La résistance des boucles extrêmes dans les conditions où elles ont été faites est bien supérieure à ce qui serait nécessaire. En effet, la tension sur le boulon d'attache est de 100 000 kilogrammes au moment de l'épreuve, ce qui produit une adhérence ou un frottement du tiers au moins à cause du changement de forme qui devrait s'opérer en cas de glissement. Ce frottement serait alors de 33 000 kilogrammes.

D'après la contexture de la boucle, deux rubans sont pliés l'un sur l'autre et alternativement dans chaque sens. L'effet qui tend à les séparer est donc de 10 000 kilogrammes au maximum. Or, nous avons vu que la seule adhérence due à la tension était plus grande ; elle doit en outre être augmentée de la pression des trois dernières boîtes. Enfin, il faut encore tenir compte du goujon qui traverse une des boîtes ainsi que le faisceau. Il est évident que ces boucles sont trop solides et qu'il suffirait, au lieu d'y ajouter les $\frac{3}{4}$ de la force moyenne du câble, d'augmenter leur section de $\frac{1}{4}$ ou de $\frac{1}{5}$.

Résumé des expériences sur le fer en rubans. — Les expériences sur la résistance des fers en rubans exigent, pour être faites avec précision, un banc d'épreuve déjà puissant et entraînent toujours à des dépenses assez fortes. Nous n'avons pas pu entreprendre une suite assez longue et assez méthodique d'essais pour arriver à des chiffres qui puissent servir de données générales. Il aurait fallu, pour

obtenir ces données exactes, tenir compte des diverses qualités de fer et essayer chacune un grand nombre de fois afin d'approcher de l'exactitude à l'aide de nombreuses moyennes.

Quelque restreintes qu'aient été nos expériences, nous les ferons connaître pour deux raisons : la première, c'est parce qu'elles sont proportionnelles entre elles et qu'elles donnent par conséquent la résistance des faisceaux par rapport à leur élément même ; la seconde, c'est qu'elles fournissent des chiffres, plutôt bas qu'élevés, qui sont probablement au-dessous de la réalité, comme nous le ferons voir, et qui, par suite, sont essentiellement pratiques et ne peuvent être accusés d'exagération.

Nous grouperons nos expériences en trois catégories. Dans la première, nous rangerons tout ce qui a été obtenu sur la résistance des fers en rubans à diverses époques et dans diverses circonstances.

Dans la deuxième, nous exposerons les expériences presque officielles qui ont eu lieu avant l'autorisation de l'administration.

Dans la troisième enfin, nous parlerons de nos dernières expériences sur les joints en fer.

(*Voir* le tableau page 33.)

Tableau résumé de diverses expériences sur la résistance des fers en rubans.

Numéros.	DÉSIGNATIONS.	Nombre des rubans.	Section partielle en millim. quarrés.	Charge de rupture par millim. quarré.	Allongement.	OBSERVATIONS.
				kilog.		
I	Abainville, 1834, fer ordinaire. . .	1	92	28	»	
II	*Id.* *id.*	1	92	32	»	
III	*Id.* *id.*	1	92	30	»	
IV	*Id.* fer corroyé.	1	77	38	$\frac{1}{10}$	
V	*Id.* *id.*	1	77	38.6	»	
	Atelier de M. Chavier, juin 1840.					
VI	Ruban en fer ordinaire.	2	40	32.5	»	
VII	*Id.*	2	60	35.7	$\frac{1}{19}$	
VIII	*Id.*	2	91	31	$\frac{1}{30}$	
IX	*Id.*	2	$148\frac{1}{2}$	31.5	$\frac{1}{600}$	
X	*Id.*	2	170	33.5	$\frac{1}{17}$	
XI	*Id.*	2	170	35.7	$\frac{1}{36}$	
	Atelier de M. Chavier, juillet 1840.					
XII	Faisceau à trois boîtes.	6	159	29	»	
XIII	*Id.*	6	159	30	»	
XIV	Câble entier de douze rubans. . .	12	$40\frac{1}{2}$	32	»	
	Chantier de Suresnes, 4 juin 1841.					
XV	Ruban en fer corroyé pour le pont.	1	312	34	$\frac{1}{11}$	
XVI	*Id.*	1	320	34	»	
	Atelier de M. Chavier, 31 juillet 1841.					
XVII	»	2	324	35	»	
»	Moyenne générale.	»	»	33	»	
»	Moyenne en retranchant I, II, III, XII, XIII, XIV.	»	»	$34\frac{5}{10}$	»	

Ces expériences tendraient à prouver que la résistance du fer en rubans est la même que celle des fers nerveux, qui varie de 32 à 36 kilogrammes par millimètre quarré. Partout où les allongements ont été constatés, ils n'ont été sensibles qu'à partir de 25 kilogrammes.

2° *Expériences du 7 juillet* 1840 (5) *sur des câbles et fractions de câbles en rubans de fer laminé, essayés à outrance.*— Le banc d'épreuve, construit chez M. Cha-

(5) Étaient présents M. Jollois, ingénieur en chef directeur, et MM. Busche et Surville, ingénieurs des ponts et chaussées.

vier, entrepreneur, rue du Faubourg-du-Temple, n° 57, se compose d'une suite de fortes poutres moisées, terminées d'un bout à une presse hydraulique et de l'autre à des leviers qui servent à déterminer les tensions.

Les leviers se composent de deux grands bras horizontaux, ayant chacun $4^{m}.67$ de long; l'un d'eux porte un plateau de balance, sur lequel on met le poids; l'autre sert de contre-poids et règle l'appareil.

Le levier horizontal fait corps avec un levier vertical en fer forgé, auquel s'attache une extrémité de la chaîne agissant sur la pièce que l'on veut essayer.

Le rapport de la puissance des leviers est celui de leurs longueurs ou de 10 à 216; il suffit donc de mettre un poids de 100 kilogrammes sur le plateau de la balance pour faire équilibre à une traction de 2 160 kilogrammes.

On se sert de l'instrument de la manière suivante : on place sur le plateau le poids correspondant à la charge que l'on veut faire supporter à la pièce que l'on essaye, et on fait marcher la presse hydraulique jusqu'à ce que le grand levier horizontal se soulève légèrement et quitte le support sur lequel il repose ordinairement.

En se rendant compte de l'effort que la barre a à supporter, on trouvera d'abord la traction théorique du levier, *plus* les frottements et l'inertie très-grande d'un appareil dont le poids est considérable. Il est donc certain que le fer est soumis à des charges bien plus fortes que celles indiquées théoriquement par la balance.

Au contraire, si l'on employait, comme dans plusieurs établissements, une soupape de sûreté placée sur la presse hydraulique pour indiquer la traction, on aurait une correction inverse à faire; la barre serait soumise à la pression théorique de l'eau *moins* le frottement du piston. Sur le banc de M. Chavier l'essai est donc très-défavorable aux fers en ce sens qu'ils supportent réellement des poids plus forts que ceux que l'on suppose.

Quatre câbles ont été essayés, savoir. — N° I. Un câble à trois boîtes à double ruban, *fig.* 5. Le faisceau au milieu est formé par vingt-deux rubans de $0^m.053$ de largeur sur $0^m.003$; six rubans seulement de chaque côté sont soumis à la traction; les autres sont simplement un remplissage, destiné à mettre les boîtes dans les conditions de résistance du câble entier.

Les boîtes de réunion qui reçoivent les extrémités de deux rubans en haut et de deux rubans en bas, sont en fer forgé et rivées avec le chapeau par une espèce de boulon méplat, faisant partie de la boîte elle-même, *fig.* 7.

Les dimensions à l'encastrement de chaque branche latérale sont de $0^m.015$ d'épaisseur et de $0^m.080$ de largeur. La largeur totale du câble est de $0^m.072$.

Les six rubans, soumis seulement à la traction de chaque côté et attachés deux à chaque boîte, offrent une section totale de résistance de $6 \times 53 \times 3 = 954$ millimètres quarrés.

La rupture s'est faite sous la charge de 29 kilogrammes par millimètre quarré de la section des rubans.

Elle a eu lieu à divers joints des rubans et à un des bouts. Les boîtes en fer forgé sont restées parfaitement intactes.

N° II. Câble à trois boîtes à double ruban semblable au précédent. Le faisceau du milieu était seulement composé de dix-huit rubans de $0^m.053$ sur $0^m.003$ d'épaisseur.

Les boîtes de réunion sont en fonte de deux pièces; la boîte et le chapeau, sont réunis par quatre boulons en fer forgé et rivés avec soin. Les parties latérales de ces boîtes ont chacune $0^m.017$ d'épaisseur moyenne, $0.^m100$ de largeur et $0^m.054$ de portée, *fig.* 6.

Chaque rivet a $0^m.012$ de diamètre.

Les six rubans, soumis à la traction, offraient ensemble une section de $6 \times 53 \times 3 = 954$ millimètres quarrés.

La rupture des rubans a eu lieu sous la charge de 30 kilogrammes avant le soulèvement du plateau et près de la boîte où le fer avait été limé.

Dans les deux expériences, l'allongement a été insignifiant jusqu'à 25 kilogrammes. C'est seulement à partir de cette charge que l'élasticité avait été dépassée.

N° III et IV. — Deux câbles entiers semblables, composés d'un faisceau de douze rubans de $0^m.017$ sur $0^m.0015$, *fig.* 9.

Ils sont assemblés chacun par dix boîtes en fonte en deux parties réunies entre elles par deux rivets en fer forgé de $0^m.013$ de diamètre, *fig.* 18 à 21.

Chaque boîte reçoit l'extrémité de deux rubans en haut et autant en bas.

Les côtés de la pièce principale de la boîte ont $0^m.013$ d'épaisseur, $0^m.014$ de longueur et une portée de $0^m.021$.

Il y a de plus, pour former, de chaque côté, les boucles extrêmes et les maintenir, trois boîtes en fer dont le seul but est de comprimer les rubans. Elles ne supportent pas d'effort latéral, puisque aucun ruban n'y est attaché. L'adhérence produite par ces trois boîtes empêche complétement le glissement des extrémités qui viennent toutes se contourner dans la boucle.

La section de résistance de chaque câble est de $12 \times 27 \times 1 \frac{1}{2} = 486$ millimètres quarrés.

Le câble n° III avait deux boîtes dont les chapeaux en fonte avaient été brisés par la rivure. L'expérience a été faite néanmoins sur ce câble.

Jusqu'à 27 kilogrammes, l'allongement partiel a été faible.

Le n° III s'est séparé sous la charge à 30 kilogrammes quand les chapeaux des deux boîtes rompues avant l'épreuve ont entraîné la rupture totale de ces mêmes boîtes.

Dans le n° IV, les boîtes qui étaient intactes ont parfai-

tement résisté, et il n'y a eu aucune séparation entre les extrémités et les rubans des boîtes elles-mêmes. C'est le fer des rubans qui a rompu à 32 kilogrammes.

Les conclusions que l'on a tirées de ces expériences sont les suivantes :

1° Que la résistance absolue d'un câble en rubans de fer laminé est au moins de 30 kilogrammes par millimètre quarré. On ne peut nier en effet que l'appareil de M. Chavier, très-convenable pour essayer les fers à une charge moyenne sans les rompre, ne soit pas inexact quand il s'agit de déterminer la charge que supporte un câble, les frottements et l'inertie de la balance augmentant beaucoup la traction théorique. Une expérience récente nous a en effet convaincus que 60 et même 80 kilogrammes étaient nécessaires pour bouger la balance quand elle était en charge de 11 000 kilogrammes, c'est-à-dire que soulevée il fallait ce poids pour la baisser, et réciproquement que les frottements étaient les mêmes pour la soulever. Or, ceci représentait 1 300 à 1 700 kilogrammes : c'est $\frac{1}{6}$ ou $\frac{1}{7}$ de correction.

On peut donc admettre que la résistance absolue des faisceaux essayés en fer ordinaire était de 30 kilogrammes ;

2° Qu'aucun allongement important ne commence avant une charge de 25 kilogrammes par millimètre quarré ;

3° Que les joints en fer ou en fonte ont bien résisté, et qu'en calculant leur force théorique à deux ou trois fois la résistance théorique des rubans qui les sollicitent, on a toute sécurité à employer ce mode d'assemblage ;

4° Que la méthode employée pour former les boucles extrêmes est bonne, et que cette partie du câble offre un excès de force convenable ;

3° *Expériences faites le* 6 *août* 1841 *sur des joints en fer plat enroulés à chaud.* — Les essais ont été faits sur le banc d'épreuve de M. Chavier. Le faisceau était de la dimension de celui du pont de Suresnes ; la bride était for-

mée avec trois tours de fer plat de $0^m.108$ de largeur et $0^m.00666$ d'épaisseur.

La construction de ces brides exigera la confection d'outils spéciaux qui eussent été beaucoup trop dispendieux pour de simples essais; il en est résulté que le pliage à chaud a dû être effectué à plusieurs reprises, et que le serrage n'a pas été suffisant, comme on le verra tout à l'heure.

L'adhérence était donc presque nulle et le joint ne se trouvait pas dans des conditions normales. Sous l'épreuve un certain jeu s'est manifesté entre la bride et le faisceau de chaque côté dans le sens qui tendait au déversement, *fig.* 12.

Deux seuls rubans de chaque côté étaient soumis à la traction; tous les autres servaient seulement de remplissage. Ce faisceau ainsi tronqué prenait sous la charge une forme contournée, *fig.* 8, qui fatiguait le joint évidemment plus qu'il ne l'aurait été en place.

Les tensions étaient calculées pour la section moyenne des deux rubans ($0^{m.q.}.648$).

Au moment où le plateau de l'appareil s'est soulevé, il y a eu rupture des deux rubans à l'angle arrondi dans la bride et dans les crics qui se manifestaient dès l'origine. Une des feuilles présentait dans ce joint des lamelles non soudées. Il est probable du reste que, malgré la mauvaise qualité du fer en ce point, la rupture ne se serait pas déclarée s'il y avait eu adhérence des rubans dans la boîte.

La bride en fer a parfaitement résisté; on n'y découvrait aucun indice de fatigue.

Comme le troisième tour du fer composant la bride n'était pas complet et que la fin et le commencement de ce fer n'étaient pas reliés par les goujons, on ne doit compter pour les résultats que cinq épaisseurs; et en faisant usage de la formule que nous avons indiquée, on trouve que le poids

de rupture théorique était de 43 000 kilogrammes (7). Au moment de la rupture des rubans, la charge n'était que de 18 000 kilogrammes, c'est-à-dire 0.42. La résistance absolue de la bride était calculée, comme on voit, à raison de 66 kilogrammes par millimètre de section des rubans qu'il s'agissait de retenir.

Deuxième expérience sur une bride tout à fait semblable. — Pour faire serrer le faisceau on a mis de chaque côté deux petits coins plats en acier, qui avaient $0^m.004$ d'épaisseur. On les a fait entrer à tort du côté de la partie arrondie de la bride où elle tend justement à s'écarter; il en est résulté que sous une certaine charge ces coins ne servaient plus à rien et pouvaient être enlevés à la main. S'ils avaient été enfoncés du côté opposé, leur action eût été beaucoup plus efficace.

A 30 kilogrammes, le plateau est soulevé, mais un instant après il y a eu rupture des deux rubans dans le trou du goujon qui venait d'être percé, ce qui réduisait la section de $0^m.648$ quarrés à $0^m.550$. Le fer était donc chargé en ce point à 35 kilogrammes par millimètre quarré.

La cassure présentait tout le caractère d'un arrachement de fer nerveux. Le fer était rétréci dans les deux sens; son épaisseur était réduite de $0^m.004$ à $0^m.0032$ et sa largeur de $0^m.080$ à $0^m.075$.

La bride qui se trouvait chargée à la moitié de la résistance absolue est restée parfaitement intacte.

Nous rappellerons ici que par la disposition du banc d'épreuve, les tensions qu'il a fournies sont des minima et qu'il n'est pas douteux que le fer supportait en réalité des charges plus considérables.

---

(7) La formule est $P = \frac{Rab^2}{64}$ on a $R = 6000$; $a = 3^c.4$; $b = 1084 = 9^c.1$; substituant $P = 43\,500$ kilogrammes.

CHAPITRE V.

COMPARAISON DES TROIS SYSTÈMES DE SUSPENSION.

En examinant d'une manière générale l'ensemble des ponts suspendus qui ont été exécutés depuis vingt années, nous ne trouvons que deux systèmes de suspension ; l'un consiste dans l'emploi des barres de fer, et est composé par conséquent de chaînons ; l'autre est formé par des faisceaux de fil de fer, dont la composition se rapproche de celle des cordages.

Chacun d'eux a ses avantages et ses inconvénients, qui le font préférer suivant les circonstances et suivant les opinions.

Les barres de fer ont plus de durée, étant moins attaquables par la rouille ; il est même certain qu'avec quelques précautions leur durée serait presque illimitée.

Le fil de fer a une plus grande résistance élémentaire ; mais il est très-attaquable par la rouille, qui doit au moins réduire sa force de traction et la ramener au bout d'un espace de temps plus ou moins long à la résistance du fer en barre.

Les avantages des suspensions en fil de fer sont : la plus grande résistance, la légèreté, l'absence des joints (qui ont des inconvénients comme poids et comme solidité), une grande sécurité sans qu'il soit nécessaire d'éprouver tous les éléments, et en définitive l'économie.

La préférence resterait donc entièrement au fil de fer s'il n'y avait pas la crainte de l'oxydation et la chance d'une diminution de résistance.

Les câbles en rubans de fer laminé ont une construction toute spéciale, qui ne permet de les assimiler complétement à aucun des deux systèmes employés jusqu'ici. Ils partagent les avantages du fil de fer sous le rapport de la sécurité provenant de la réunion d'un grand nombre d'é-

lémens, et ils ont en outre toutes les chances de durée des barres de fer. On ne trouvera donc pas étrange que ce système se présente comme un concurrent redoutable pour les deux systèmes connus.

Par rapport aux barres de fer, il offre une économie incontestable, plus de sécurité et autant de durée, si ce n'est davantage.

Par rapport au fil de fer, même sécurité, durée infiniment plus grande, égalité de prix. Mais notre comparaison ne peut se borner à des indications générales; elle doit être détaillée ainsi :

1° Résistance absolue des éléments. — Charge d'épreuve des divers systèmes ;

2° Poids comparatif des câbles ;

3° Surfaces et volumes des câbles et chaînes;

4° Résistance absolue des câbles entiers.— Rapports de la charge d'épreuve à la résistance absolue ;

5° Considérations sur les dépenses d'établissement ;

6° Conclusions.

1° *Résistance absolue des câbles , charge d'épreuve.* —La résistance absolue des fers en barres varie entre 30 et 40 kilogrammes par millimètre quarré. Le poids maximum, dont on les charge lors des épreuves, varie entre 10 et 15 kilogrammes. La limite admise actuellement par l'administration est de 12 kilogrammes par millimètre quarré, c'est-à-dire de plus du tiers d'une résistance moyenne élémentaire du fer, supposée de 33 kilogrammes.

La résistance absolue des fils de fer, n° 17, 18 et 19, c'est-à-dire d'un diamètre de $0^m.0025$ à $0^m.0035$, est de 60 à 80 kilogrammes par millimètre quarré, soit moyenne 72 kilogrammes.

La charge maximum qu'on leur a jusqu'ici fait porter varie de 15 à 30 kilogrammes par millimètre quarré. Elle est fixée maintenant à 18 kilogrammes par l'administra-

tion, c'est-à-dire au quart seulement de la force absolue du fer. La cause de cette grande différence, complétement anormale, réside tout entière dans les chances d'oxydation du fil de fer. Sans entrer ici dans une discussion qui serait prématurée, nous devons dire cependant que cette règle serait contraire à toute logique, si l'on n'avait en vue la diminution de la résistance du fil de fer par suite de l'oxydation. Qui ne sait en effet que le fil de fer ne doit sa résistance si grande qu'à un état d'écrouissage tout à fait artificiel et produit par la compression énorme à laquelle le soumet l'étirage à la filière. Si l'on recuit les fils en les exposant à une température élevée, on leur fait perdre l'espèce de trempe qu'ils avaient reçue par cette opération : leur résistance se réduit immédiatement de moitié.

Il y a donc tout lieu de craindre que l'oxydation n'attaque la croûte du fer et ne change sa nature en le ramenant aux propriétés du fil recuit. Ainsi c'est par prévoyance que l'administration a réduit autant la limite de charge des suspensions en fil de fer. Nous reviendrons d'une manière plus étendue sur ce sujet.

La résistance absolue des rubans en fer laminé est au moins égale à celle des fers en barre de même section. Elle leur est même supérieure puisque ce fer reçoit une espèce d'écrouissage par le passage à une basse température dans des laminoirs durs qui polissent parfaitement sa surface. On peut donc admettre que cette résistance est un peu plus grande. Quant à présent nous la supposons la même, c'est-à-dire de 34 kilogrammes en moyenne pour les fers nerveux.

La tension au moment de l'épreuve du pont de Suresnes devait être de 14 kilogrammes par millimètre quarré, suivant l'autorisation de l'administration. En réalité, elle a été plus forte. Il n'y a du reste aucun doute que cette limite ne soit portée à 15 kilogrammes par millimètre quarré.

Pour supporter les mêmes charges, les sections des câbles seront dans le rapport suivant :

Chaînes en barres de fer.	6
Câble en rubans.	5
Câble en fils.	4

2° *Poids comparatif des câbles.*— Dans les chaînes en barres de fer, le poids supplémentaire des joints se compose du poids des boulons, des renflements et recouvrements. Leur influence est d'autant moindre que les barres sont plus longues ; aussi, dispose-t-on les chaînes de manière à ce que les tiges de suspension attachées à une d'elles soient très-espacées. Les chaînes forment alors de grands polygones peu agréables à l'œil et sujets à déformation par le passage des voitures.

Les joints les plus rapprochés sont à deux entraxes de poutrelles. Il y en a peu d'exécutés ainsi ; quelques-uns sont de trois entraxes ; mais, en général, ils se trouvent à quatre entraxes et exigent par conséquent l'emploi de quatre chaînes séparées de chaque côté du pont. Le poids supplémentaire des joints dans ces chaînes en barres varie de 25 jusqu'à 60 pour 100. On peut admettre qu'il est moyennement de 30 pour 100. Nous donnons ici à l'appui de ce coefficient un tableau qui fournit des renseignements pour sept ponts différents.

(*Voir* le tableau page 44.)

Résumé des coefficients des joints de diverses chaînes de suspension en barres de fer.

Numéros.	DÉSIGNATIONS.	Nombre des chaînes.	NOMBRE d'éléments dans chaque chaîne.		Surface de section d'une chaîne.	Distrib. des tiges sur les mêmes chaînes.	Coefficients du poids supplre du joint.	OBSERVATIONS.
I	Pont de Menay (Angleterre).	16	5	6	10480	3.05	0.60	(*a*)
II	Pont d'Arcole sur la Seine (Paris). . . .	4	2	3	3120	3.06	0.59	(*b*)
III	Pont de l'allée d'Antin sur la Seine.	8	2	4	3320	5.04	0.30	(*c*)
IV	Pont de Bercy sur la Seine.	8	1	2	1450	5.40	0.29	(*d*)
V	Pont de Ris sur la Seine.	18	1	2	1950	4.18	0.33	(*e*)
VI	Pont sur le chemin de fer à Versailles dans le parc de Saint-Cloud.	4	2	2	3320	2.51	0.34	(*f*)
VII	Pont de Fumay sur la Meuse.	4	2	3	5150	2.60	0.28	(*g*)
	Moyenne générale. . .	»	»	»	»	»	0.37	
	Id. des 5 derniers ponts.	»	»	»	»	»	0.31	

(*a*) Joint spécial. — (*b*) Joint spécial double. — (*c*) Joint spécial. — (*d*) *Id.* — (*e*) *Id.* — (*f*) Sans joint spécial. — (*g*) *Id.*

On peut considérer le coefficient 0.31 comme s'approchant de la moyenne. Il en résulte que, comparé au poids du câble en fil de fer, le poids des chaînes en fer devra être de $1.50 \times 1.30 = 1.97$, c'est-à-dire le double environ.

Dans les câbles en rubans, le poids supplémentaire du joint comprend, outre le joint lui-même, le poids de l'extrémité des feuilles se recourbant et s'attachant à ce joint.

A la passerelle d'Abainville, le poids supplémentaire était de 0.50 du poids élémentaire du câble, se composant de 0.47 fonte et 0.03 fer.

Au pont de Suresnes le supplément est de 0.264, savoir: 0.22 fonte et 0.044 fer de rivets, et de rubans. Si l'on y avait employé des brides en fer, Pl. 27, *fig.* 16 et 17, le supplément eût été réduit à 0.15.

Enfin, pour ce même pont, en doublant le câble et faisant des joints simples écartés de 0.95, le supplément eût été réduit à 0.10, *fig.* 14, 15.

Ainsi comparé au fil de fer, le poids élémentaire des câbles en rubans étant dans le rapport de 1.25 à 1, le poids réel deviendra le suivant pour les diverses dispositions :

Pont d'Abainville.	1.25 × 1.50 = 1.875
Pont de Suresnes exécuté.	1.25 × 1.264 = 1.580
Id. avec brides en fer.	1.25 × 1.15 = 1.440
Id. en deux câbles.	1.25 × 1.10 = 1.375

On peut admettre d'une manière générale que le poids supplémentaire des joints dans les câbles en rubans avec brides en fer est de $\frac{1}{8}$, soit 0.125. Il en résulte que le poids réel de ce câble, par rapport à ceux en fil de fer, sera 1.25 × 1.125 = 1.40.

Dans les câbles en fil de fer le poids supplémentaire des recouvrements et ligatures est très-minime et tout à fait insignifiant.

En résumé donc, en prenant pour base le poids d'une suspension en fil de fer, le poids réel des divers systèmes sera le suivant :

Fil de fer chargé à 18 kilogrammes par millimètre quarré. . .	100
Câbles en rubans à 15 kilogrammes avec brides en fer.	140
Chaînes en barres de fer, 12 kilogrammes.	197

3° *Surfaces et volumes des câbles et chaînes.*—La surface d'un corps est d'autant plus grande relativement à son volume que ses dimensions sont plus petites : ainsi, 100 kilogrammes de fer en barres, rubans et fils employés dans des suspensions de ponts, auront relativement des surfaces exposées à la rouille d'autant plus considérable que leurs dimensions ou leurs diamètres seront moindres.

On pourra donc avoir, par le rapport des surfaces de fer, le rapport des chances d'oxydation et celui des quantités de peinture dont elles devront être enduites.

Le tableau suivant résume ces documents.

Chaînes en barres de fer.

Numéros.	DÉSIGNATIONS.	Dimensions des barres élém. en millimètres.	Section en millimètres quarrés.	Long^r nécessaire pour un poids de 100 kilog.	Contour des barres.	Surfaces totales des barres pesant 100 kilog.
				mèt.	mèt.	mèt. q.
I	Pont de Menay.	83 × 25	2075	6.20	0.216	1.34
II	Pont d'Arcole.	diam. 50	1960	6.55	0.157	1.03
III	Pont de l'allée d'Antin. .	*id.* 46	1660	7.75	0.145	1.125
IV	Pont de Bercy.	*id.* 43	1450	8.86	0.135	1.200
V	Pont de Ris.	*id.* 50	1960	6.55	0.157	1.03
VI	Pont du parc de St-Cloud.	*id.* 46	1660	7.75	0.145	1.125
VII	Pont de Fumay.	*id.* 57	2575	5.00	0.179	0.90 } 1.04
		id. 57	1713	7.50	0.148	1.11 }
	Moyenne générale. .	»	»	»	»	1m.q..13
VIII	Pont de Suresnes. . . .	81×4	324	39.50	0.170	6 71
IX	*Id.* avec joints en fer. .	60×3 6/10	216	59.50	0.127	7.55
	Fils de fer.					
		diam. mill.				
»	N° 17.	2 70	5.70	2250	0.018	40.50
»	N° 18.	3.08	7.45	1720	0.0234	40.30
»	N° 19.	3.50	9.60	1335	0.030	40.10

Ainsi, la surface de 100 kilogrammes de fer serait en moyenne de :

1m.q..10 pour les chaînes en barres de fer.
8m.q..00 pour les câbles en rubans.
40m.q..00 pour les câbles en fil de fer.

Dans les chaînes en barres, tous les éléments sont séparés et distincts. La peinture des câbles en place a la même étendue totale que celle de ses éléments. Ces chaînes occupent toujours beaucoup de place, surtout à cause de la nécessité de mettre plusieurs systèmes de chaînes de chaque côté.

Dans les câbles en rubans, les lames sont complétement

juxta-posées par le serrage des boîtes. Dans la partie intermédiaire des joints, le faisceau s'écarte, mais d'une très-faible quantité. Au pont de Suresnes, le renflement au milieu n'est que de $\frac{1}{8}$ tout au plus, ce qui fait pour l'ensemble du câble une somme d'espaces intermédiaires de $\frac{1}{16}$ ou 0.06 seulement. Si les joints, au lieu d'être écartés à 1.40 se trouvaient espacés de 0.95 seulement, nul doute que cette espèce de boursoufflement ne se réduirait à $\frac{1}{20}$ au plus.

La surface totale exposée à l'air, et qui doit recevoir un certain nombre de couches de peinture, est bien moindre que la surface de tous les éléments. Nous la calculerons tout à l'heure.

Les câbles en fil de fer présentent au contraire beaucoup de vides entre leurs éléments et dans l'intérieur du faisceau.

La forme circulaire exclut la juxta-position, et le dernier minimum des espaces vides sera celui qui existera entre trois cercles tangents entre eux. Le rapport de la surface des trois secteurs au triangle qui joint les centres est celui de 1 à 1.1025. Le moindre espace vide sera donc de 10 pour 100.

En formant un câble par juxta-position théorique des éléments, les cercles se grouperont suivant des hexagones successifs et parallèles ayant un cercle comme centre général.

Si de ce centre on trace une série de circonférences tangentes successivement à un élément circulaire, on circonscrira alors un certain nombre d'éléments. Les espaces vides de l'intérieur auront tous le coefficient de 0.1025 que nous venons d'indiquer; mais les espaces vides extérieurs viendront s'y ajouter et augmenter l'espace vide total.

En déterminant ainsi les espaces théoriques totaux

pour un certain nombre de fils de même numéro, on trouvera :

Pour un faisceau de	7 à	60 fils un espace vide de	0.30
	60 à	120	0.25
	120 à	320	0.20
	350 à	700	0.185
	700 à	900	0.165
	900 à	1200	0.155

Ces coefficients vont en s'abaissant à mesure que le nombre des fils augmente et s'approche de plus en plus du coefficient minimum de 0.1025.

En pratique, cette juxta-position n'est pas possible ; les fils de fer présentent toujours beaucoup de plis ; ils ne se rangent pas parallèlement, et les espaces vides sont toujours beaucoup plus grands.

Nous trouvons dans un mémoire fort remarquable de M. Leblanc sur le pont qu'il a construit à la Roche-Bernard une indication sur les coefficients les plus bas qui peuvent être atteints. Cet ingénieur a fait faire des faisceaux composés d'un certain nombre de fils du même numéro. Ces fils, disposés avec soin, ont donné près des ligatures les résultats indiqués dans ce tableau :

Nombre de fils.	FAISCEAUX DE FILS de 0.0035 de diamètre.				FAISCEAUX DE FILS de 0.00279 de diamètre.				Coefficients moyens.
	Diamètre du faisceau en millimètres.	Surfaces en mill. quarrés du faisceau.	Surfaces en mill. quarrés du fer.	Coefficients d'espaces vides par rapport à la section du fer.	Diamètre du faisceau en millimètres.	Surfaces en mill. quarrés du faisceau.	Surfaces en mill. quarrés du fer.	Coefficients d'espaces vides par rapport à la section du fer.	
100	40.4	1 280	935	0.37	35.3	978	611	0.60	0.485
300	70.7	3 960	2 805	0.41	60.5	2 570	1 833	0.57	0.49
500	91.7	6 620	4 675	0.41	77.3	4 680	3 055	0.53	0.47
800	117.4	10 740	7 480	0.43	»	»	»	»	0.43
1000	132.4	13 700	9 350	0.46	105.6	8 760	6 110	0.435	0.45
1500	162.3	20 600	14 025	0.47	130.5	13 380	9 165	0.460	0 455
2000	183 9	26 600	18 700	0.42	150.6	17 800	12 220	0.460	0.440
2500	208.7	34 300	23 375	0.47	169.3	22 500	15 275	0.470	0.470
3000	219.6	38 200	28 050	0.37	182.6	26 200	18 330	0.430	0.400
	Moyennes générales .			0.42	Moyennes générales. .			0.49	0.45

En moyenne générale, l'espace vide serait 0.45 de la ction du fer. En comparant ce résultat aux coefficients éoriques de la table précédente, on voit que l'espace ssé libre à l'intérieur, quelque soin que l'on apporte a construction, est toujours assez considérable.

Mais dans l'exécution en grand, dans la pratique en un t, quand les fils se croisent et qu'il faut les serrer en sceau, on ne peut parvenir à les rapprocher comme ns une expérience en petit. Il existe donc nécessaire-nt de grands vides à l'intérieur d'un câble en fil de fer, elque bien construit qu'il soit.

Ainsi, au pont de la Roche-Bernard, il y a deux câbles chaque côté; leur diamètre est de $0^{m}.170$; leur surface section est donc de $22^{m.q.}.700$. Ils sont composés de 108 fils de $0^{m.q.}.009$ de section moyenne et offrent par nséquent une section réelle de fer de $12^{m.q.}.784$. L'espace le est 0.78 de la section du fer.

Au pont de Fribourg, construit par M. Chaley, il y a alement deux câbles jumeaux de chaque côté; leur dia-ètre est de $0^{m}.140$; leur section totale $15^{m.q.}.400$. Chaque ble renferme 1 056 fils d'une section moyenne de $7^{m.q.}.44$ oduisant une surface réelle de fer de $7^{m.q.}.850$. Le rapport 1 vide au plein est de 0.96.

Au même pont, les câbles d'amarre sont formés de 28 fils du même numéro; c'est un diamètre total de $^{m}.100$. Ici le vide serait égal au plein.

Nous n'avons pas malheureusement d'autres exemples uthentiques à produire pour donner encore plus de poids ce fait qui pour nous est évident : que dans les câbles n fils de fer, l'espace vide est presque égal au plein, et u'il varie entre 75 et 100 pour 100 de cette section totale.

La conséquence naturelle de ce fait, c'est la facilité 'oxydation d'une masse ainsi divisée, dans laquelle l'air t l'humidité pénètrent toujours et agissent sans entraves

sur des fers très-divisés et leur offrant des surfaces très-étendues.

Ces considérations nous amènent naturellement à considérer l'emplacement occupé par le câble dans les divers systèmes. Nous nous rendrons compte en même temps de la quantité de peinture extérieure qu'ils réclament.

Supposons qu'il s'agisse de faire une suspension ayant à supporter une traction totale de 200 000 kilogrammes, c'est-à-dire 100 000 kilogrammes sur chaque bout du tablier (c'est la tension des chaînes du pont de Suresnes). Les dimensions des câbles et chaînes dans les trois systèmes sont résumées dans le tableau suivant, en calculant les sections de fer à raison de 12, 15 et 18 par millimètre quarré.

Numéros.	DÉSIGNATIONS.	SURFACES en mill. quarr. du fer.	SURFACES en mill. quarr. des faisceaux.	SURFACE réelle des faisceaux élémentaires en mill. quarr.	DIAMÈTRE en millimètres des faisceaux élémentaires	CONTOUR total des faisceaux en mètres.	LONGUEUR de câble pour un poids de 100 kilogr.	SURFACE extérieure pour un poids de 100 kilogr.	OBSERVATIONS.
I	*Chaînes en barres de fer.*								
	2 chaînes de chaque côté à 2 barres chacune.	8340	8340	2085	$51\frac{6}{10}$	0.65	1.535	1.00	*Fig.* 66
	4 chaînes de chaque côté à 1 barre.	8340	8340	2085	$51\frac{6}{10}$	0.65	1.535	1.00	*Fig.* 68
	4 chaînes de chaque côté à 2 barres.	8340	8340	1042	$36\frac{5}{10}$	0.917	1.535	1.41	*Fig.* 67
II	*Câbles en rubans.*								
	1 câble de chaque côté à 20 rubans.	6670	6670	6670	$81 \times 82\frac{1}{2}$	0.334	1.92	0.64	*Fig.* 69
	2 câbles de chaque côté à 15 rubans.	6670	6670	3335	60×56	0.480	1.92	0.92	*Fig.* 70
III	*Câbles en fils de fer.*								
	2 câbles de chaque côté de 410 fils.	5560	10560	5280	81	0.508	2.30	1.17	*Fig.* 71
	4 câbles de chaque côté de 205 fils.	5560	10560	2640	58	0.730	2.30	1.68	*Fig.* 72

L'inspection du tableau et celle des figures indiquent que le système des câbles en rubans est le plus resserré et le moins embarrassant. Il offre la surface extérieure développée la moins considérable soit d'une manière absolue, soit rapportée aux 100 kilogrammes de fer.

Les chaînes en barres sont au contraire très-embarrassantes à cause de la place qu'il faut réserver pour leurs joints.

La surface de peinture extérieure peut être fixée approximativement par 100 kilogrammes de

Chaînes en rubans,	$0^{m}.90$	à deux couches, soit	$1^{m}80$
Chaînes en barres,	$1^{m}.10$	*id.*	$2^{m}.20$
Câbles en fils de fer,	$1^{m}.30$	*id.*	$2^{m}.60$

Ajoutant à chaque système la peinture élémentaire à une couche, on aura pour les frais totaux de peinture :

	Par 100 kilogrammes.		Rapport des poids.		Rapport des surfaces de peinture.
Chaînes en barres.	$3^{m^2}.30$	×	$1^{k}.97$	=	$6^{m}.50$
Câbles en rubans.	$9^{m^2}.80$	×	$1^{k}.40$	=	$13^{m}.70$
Câbles en fils de fer.	$42^{m^2}.60$	×	$1^{k}.00$	=	$42^{m}.60$

En multipliant par les poids comparatifs des diverses suspensions, nous avons obtenu le rapport des enduits nécessaires pour chaque système. On voit que ce rapport est sensiblement de

2 pour les barres de fer ;
4 pour les rubans ;
12 pour les câbles en fils de fer.

4° *Résistance absolue des câbles entiers. — Rapport de la charge d'épreuve à cette résistance absolue.* — La résistance absolue des câbles entiers ou la charge nécessaire pour les rompre est inférieure à celle du fer qui les compose. Les motifs de l'atténuation de la résistance des faisceaux ou des chaînes sont différents ; aussi, ne nous semble-t-il pas convenable de fixer les limites de la charge d'épreuve d'après les résistances élémentaires des fers.

Il y a lieu de tenir compte des modifications apportées à la solidité par la manière dont le faisceau est composé ainsi que par les altérations que l'on fait subir aux fers. Il faut considérer aussi les modifications que ce métal peut éprouver par le temps et les intempéries.

L'administration, dans la fixation des limites de charge à faire supporter aux fils de fer et aux barres, a dû avoir égard à ces divers motifs. Nous les examinerons successivement pour chaque système différent.

(1°) *Fils de fer* — La résistance absolue des fils de fer est en moyenne de 72 kilogrammes. La charge d'épreuve autorisée, après avoir subi diverses fluctuations, a été fixée depuis assez longtemps à 18 kilogrammes par millimètre quarré, c'est-à-dire à 0.25 seulement de la résistance absolue des éléments. Cependant, il est admis par tout le monde que les câbles en fils de fer, peu de temps après leur construction, peuvent supporter sans altération des charges de 21 et même de 27 kilogrammes par millimètre quarré. Le pont de Fribourg, entre autres, a été éprouvé à cette tension qui ne s'élève encore qu'à 0.375 de la résistance absolue du fer. Sous le rapport de la sécurité immédiate les prescriptions de l'administration sont donc très-exagérées; elles ont pour motif de prévoir l'altération inévitable que subissent les câbles en fils de fer par la rouille. Il faut que cette altération ne compromette pas la solidité du pont; il est donc permis de supposer que l'on a admis que par cette cause la résistance pouvait être réduite aux deux tiers, c'est-à-dire de 72 à 48 kilogrammes par millimètre quarré. Cette réduction, que nous posons ainsi afin d'arriver à une comparaison avec les autres systèmes, est loin d'être arbitraire si l'on envisage que la rouille peut modifier la nature du fil de fer, lui faire perdre son écrouissage, et par conséquent une grande partie de sa ténacité.

En réduisant ainsi à 48 kilogrammes par millimètre quarré la résistance absolue des fils de fer au bout d'une

certaine période d'années, le coefficient d'épreuve s'élève alors à 0.375 comme celui du pont de Fribourg.

La résistance absolue d'un faisceau de fil de fer est moindre que celle des fils eux-mêmes, parce qu'il n'y a pas égalité de tension.

Un mémoire inséré en 1839 dans les Annales, par M. Leblanc, ingénieur des ponts et chaussées, renferme des expériences sur la résistance des petits câbles en fil de fer, et nous donne à ce sujet des chiffres authentiques.

Ces expériences ont été faites sur des écheveaux composés de 30 fils dont la résistance totale était de 18 000 à 19 000 kilogrammes. Le coefficient de rupture de l'écheveau, par rapport à la résistance absolue des fers, a été suivant divers systèmes de ligature et de fabrication :

Par la méthode	Leblanc.	0.866
Id.	Vicat.	0.848
Id.	Seguin.	0.813
Moyenne générale.		0.832

Ainsi, un écheveau de 30 fils rompra sous une charge égale aux $\frac{5}{6}$ de la résistance absolue des fils qui le composent.

Les câbles eux-mêmes sont formés d'un grand nombre d'écheveaux qui ne sont pas également tendus et qui nécessitent une nouvelle réduction et l'emploi de nouveaux coefficients. En effet, l'épanouissement des écheveaux sur les points d'appui, leur préparation à des températures différentes, un certain désordre inévitable dans l'arrangement de gros faisceaux : tous ces motifs contribuent à ce que la tension ne soit pas également répartie. Il nous semble donc nécessaire d'admettre un second coefficient semblable au premier soit les $\frac{5}{6}$; ce qui donnera pour la résistance absolue d'un câble formé d'un grand nombre de fils de fer un coefficient définitif de 0.70 de la résistance totale des éléments, c'est-à-dire

Câble neuf.	72×0.70	50 kilog. par mill. de résist. absolue.
Câble vieux et rouillé.	48×0.70	34 kilog. *id.*

En comparant maintenant la charge d'épreuve à la résistance absolue des câbles entiers, on trouvera le rapport suivant :

Câble neuf. . . . . $\frac{18}{50} = 0.36$
Câble vieux. . . . . $\frac{18}{34} = 0.53$

Le coefficient de 0.36 qui existe toujours au moment de l'épreuve, parce que le câble est neuf, indique l'entière sécurité que ce système offre à ce moment. Aussi, il n'y a pas d'exemple de suspension en fil de fer qui ait rompu sous la charge.

(2°) *Chaînes en barres de fer.* — La résistance du fer en barres varie entre 30 et 40 kilogrammes ; les fers nerveux, qui doivent être préférés pour la construction des ponts, ont une résistance moyenne de 33 kilogrammes par millimètre quarré.

La charge d'épreuve, qui, pour quelques ponts, s'est élevée jusqu'à 15 kilogrammes, a été fixée maintenant à 12 kilogrammes par l'administration ; c'est 0.365 de la résistance absolue du fer.

La résistance absolue des chaînes est bien inférieure à celle du fer qui est employé, parce que les soudures, réchauffages et manutentions que supporte le fer altèrent ses propriétés. Cette résistance absolue s'abaisse quelquefois jusqu'à la charge d'épreuve, c'est-à-dire à 12 kilogrammes par millimètre quarré, charge qui a suffi pour déterminer la rupture de quelques ponts.

On pourrait la fixer approximativement à la limite de l'épreuve préalable des barres de fer, c'est-à-dire à 17 ou 18 kilogrammes, et cependant on n'aurait pas encore de sécurité, car telle barre qui peut supporter 18 kilogrammes pendant quelques minutes, romprait si la charge était maintenue pendant un grand nombre d'heures.

Ces indications sont générales ; mais elles prouvent cependant que la résistance absolue des chaînes est bien inférieure à celle du fer lui-même.

Nous avons heureusement quelques expériences authentiques qui ont été faites à l'usine de Guérigny, dans la Nièvre.

C'est dans cet établissement, appartenant à l'état, que l'on fabrique les gros câbles en fer de la marine royale.

L'épreuve des câbles entiers se fait avec une presse hydraulique, à raison de 17 kilogrammes par millimètre quarré ; les chaînes éprouvées ont $30^{m}.00$ de long. Le câble sous l'épreuve est visité avec le plus grand soin, maille par maille, et tous les chaînons qui présentent quelques défauts rendus apparents par l'essai sont immédiatement remplacés. Un câble n'est reçu que quand il ne présente plus de défauts, et c'est en général après la troisième épreuve seulement.

Ce mode de fabrication et d'essai offre toute espèce de garanties, et l'on peut admettre que les chaînes de suspension en barres dont les éléments sont éprouvés séparément pendant quelques secondes ne sont pas plus résistantes, si elles le sont autant.

Des essais spéciaux ont été faits à Guérigny pour avoir la résistance absolue des câbles entiers préparés avec les précautions ordinaires. Cette résistance a été moyennement de 25 kilogrammes par millimètre quarré. Par rapport à la résistance absolue des fers employés, qui était de 33 kilogrammes, c'est un coefficient de 0.76.

Ce serait la résistance maximum d'une suspension en barres simples ; mais fréquemment les chaînes se composent de plusieurs chaînons, et quelquefois il y a 4 à 5 barres à la même chaîne à côté les unes des autres. Évidemment leur tension n'est pas la même, et leur résistance absolue doit être encore réduite d'une certaine proportion qui peut être, sans grande erreur, fixée, comme pour les écheveaux par rapport aux faisceaux de fils, à 0 83 ou $\frac{5}{6}$. La ré-

sistance absolue des chaînes en barres de fer se trouverait ainsi réduite à $20^{kil.}.70$ par millimètre quarré.

Notre opinion est que cette résistance est encore un maximum, et que sur cent suspensions exécutées, il n'y en aurait pas cinq qui la supporteraient sans se rompre. La charge d'épreuve étant de 12 kilogrammes, le coefficient serait de 0.58 par rapport à la résistance absolue des chaînes elles-mêmes.

(3°) *Des câbles en rubans.* — La résistance moyenne des rubans serait, d'après nos expériences, de 34 kilogrammes seulement par millimètre quarré; sur le même banc d'épreuve la résistance des câbles et faisceaux a été de 30 kilogrammes. Ces chiffres peuvent être considérés comme des minima par suite des corrections qu'il faudrait faire aux indications de l'appareil.

Néanmoins, ils indiquent que la résistance du faisceau serait 0.88 de celle des éléments. Or, ces expériences ont eu lieu sur des câbles entiers, tels qu'ils sont faits pour l'exécution en grand. La charge doit se répartir également sur l'ensemble du faisceau, puisque tous les éléments sont placés immédiatement dans la position qu'ils occuperont toujours, et doivent en conséquence se rapprocher autant que possible de l'égalité de tension.

Nous venons de voir que dans les suspensions en barres la charge d'épreuve était les 0.58 de la résistance absolue des chaînes; en adoptant le même rapport pour les câbles en rubans la charge d'épreuve devrait être fixée à 17 kilogrammes. Or, il n'y a aucune raison de diminuer ce coefficient; l'élément du câble ne subit aucune altération; on ne peut admettre une diminution de résistance comme dans les fils de fer par suite d'une action de la rouille analogue à celle du recuit. Nous ne supposons en effet pour les rubans que la résistance pure et simple du fer. La manière dont les éléments sont juxta-posés les préserve de l'attaque de la rouille; la surface extérieure des fais-

ceaux est très-petite, et la surface développée des éléments est cinq fois moins grande que celle des câbles en fils.

L'administration a jusqu'ici autorisé l'épreuve à 14 kilogrammes, mais tout nous fait espérer qu'elle la fixera définitivement à 15 kilogrammes au moins. Cette charge en effet est loin de celle qui altère le fer.

Nous résumons dans le tableau suivant les résistances absolues des fers et des câbles dans diverses positions que nous venons d'examiner, et nous donnons le coefficient de la charge d'épreuve par rapport à ces dernières résistances.

DÉSIGNATIONS.	RÉSISTANCE moyenne par mill. quarr.			Charge d'épreuve par millimètre quarré.	COEFFICIENT ou rapport de la charge d'épreuve à la résistance moyenne		
	du fer brut isolé.	des faisceaux primitifs, écheveaux ou chaînes simples.	des câbles entiers.		du fer brut.	des faisceaux primitifs.	des câbles entiers.
	kil.						
Fil de fer étiré. Fil neuf (administrat.).	72	60	50	18	0.250	0.30	0.36
Fil de fer étiré. *Id* (Pont de Fribourg).	72	60	50	27	0.375	0.45	0.54
Fil de fer étiré. Câbles supposés oxydés.	48	40	34	18	0.375	0.45	0.54
Barres de fer.	33	25	20 $\frac{75}{100}$	12	0.365	0.48	0.58
Rubans en fer laminé. . . .	34	30	30	15	0.440	0.50	0.50

En comparant la charge d'épreuve à la résistance absolue des câbles *entiers*, on voit que le coefficient le plus bas, et par conséquent le plus sûr, est celui des câbles en rubans; qu'il n'est que de 0.50 au lieu de 0.58 qui existe pour les barres de fer, et au lieu de 0.54 pour les fils de fer, en écartant, il est vrai, la résistance des câbles neufs, et en ne considérant que celle des fils déjà attaqués par la rouille.

5° *Considérations sur les dépenses d'établissement des divers systèmes.* — Il serait difficile de donner des chiffres positifs sur les dépenses d'exécution des diverses suspensions: elles varient suivant les localités, suivant la nature

des matières employées, suivant le mode et le soin de la fabrication, etc. Nous nous tiendrons donc ici dans des considérations générales.

Les prix élémentaires dans les trois systèmes sont moyennement les suivants :

Fers ronds corroyés à câbles.	50 fr.	les 100 kilogrammes.
Fers en rubans corroyés.	60 fr.	*id.*
Fils de fer n° 18.	90 fr.	*id.*

Pour comparer les dépenses réelles, il faut tenir compte des poids qui sont nécessaires dans chacun des divers systèmes pour supporter la même charge : la dépense en matière première sera :

Fers en barres.	$50^{fr.} \times 1.97 = 96^{fr.}.50$
Câbles en rubans.	$60^{fr.} \times 1.40 = 84^{fr.}.00$
Fils de fer.	$90^{fr.} \times 1.00 = 90^{fr.}.00$

Les prix des matières premières seraient donc peu différents; mais le mode de fabrication change la proportion.

Les chaînes en barres exigent des dépenses de main-d'œuvre, de charbon, de déchet pour la confection des chaînons.

Les câbles en rubans ont des dépenses de main-d'œuvre et d'outillage pour confection et des dépenses de peinture.

Les câbles en fils de fer exigent des dépenses de peinture et de main-d'œuvre, ainsi que quelques frais d'appareils pour confectionner les faisceaux.

Il faut en outre tenir compte pour chaque système de ses frais de transport à pied-d'œuvre et de mise en place.

Le système qui offre le plus de facilité, c'est le fil de fer, parce qu'il se monte en écheveau pour les grandes portées. Dans les ouvertures ordinaires, on monte les câbles entiers, et par conséquent l'avantage n'est pas aussi grand en faveur du fil de fer qui, dans tous les cas, conserve sur ses concurrents le mérite de la légèreté.

En résumé, sous le rapport de l'économie des frais de premier établissement, les trois systèmes peuvent se classer ainsi :

				Rapport.
Fils de fer. . .	100 kilogrammes	à 1fr..40. . .	140fr..00. . .	1.00
Fers en rubans.	140 *id.*	à 1fr..10. . .	154fr..00. . .	1.10
Fers en barres.	197 *id.*	à 1fr..00 . .	197fr..00. . .	1.41

On voit que les câbles en rubans, beaucoup plus économiques que les chaînes en barres, le sont presque autant que les câbles en fils de fer.

6° CONCLUSIONS.

Nous avons décrit le système spécial des constructions des câbles en rubans; nous avons indiqué le mode de construction adopté dans deux ponts spéciaux ; nous avons présenté les calculs qui permettent d'établir les dimensions convenables des joints. Nous avons proposé un système spécial de joints en fer qui est préférable à ceux exécutés. Nous avons enfin fait connaître en détail un troisième système de câbles pour ponts suspendus.

Pour lui faire prendre un rang parmi les deux autres systèmes, nous avons examiné les deux modes employés jusqu'ici, les barres et les fils sous un grand nombre de points de vue, celui de leur résistance, de leur poids, de leur volume, de leur surface, de leur chance d'oxydation, de leur mode de résistance quand ils sont réunis en chaînes ou faisceaux, et de leur sécurité dans l'application. Ces examens, qui ont été faits parallèlement pour les câbles en rubans, nous ont amenés en définitive aux conclusions suivantes :

Les avantages des câbles en rubans de fer laminé sur chaînes en barres sont :

1° D'employer du fer dont les dimensions sont plus réduites et dont la résistance moyenne doit par conséquent être plus élevée ;

2° D'employer le fer tel qu'il sort du laminoir, à un état où il est facile de reconnaître ses défauts ; on ne l'expose à aucun réchauffage, soudure ou manutention, travaux qui altèrent toujours le fer ;

3° De dispenser des épreuves préalables, dont le moindre inconvénient est de fatiguer le fer quand on porte les essais jusqu'à 18 et 20 kilogrammes et qui sont insignifiantes au-dessous. Ces épreuves sont, au contraire, indispensables sur *toutes* les barres de fer;

4° D'offrir une nouvelle sécurité par le grand nombre d'éléments formant le faisceau, de telle sorte qu'une partie faible correspond à beaucoup d'autres rubans parfaitement sains;

5° De soumettre les fers à des tensions sensiblement égales par suite du mode de fabrication par lequel les rubans en faisceau sont formés suivant la figure qu'ils conserveront en place;

6° D'être plus résistants et par conséquent de pouvoir être chargés de 15 et même 17 kilogrammes par millimètre quarré au moment de l'épreuve;

7° D'être moins lourds à la fois, parce que leur résistance est plus grande, et ensuite parce que le poids supplémentaire des joints n'est que de $\frac{1}{8}$ seulement, tandis qu'il est du tiers environ dans les chaînes en barres de fer. Le rapport des poids est de 5 à 7;

8° D'être plus économique dans une assez forte proportion que nous fixons approximativement à $\frac{2}{9}$, c'est-à-dire plus de 20 pour 100, ce qui est dû à ce qu'ils se composent de fer brut de commerce sans changement de forme et d'un prix élémentaire peu supérieur à celui de fers en barres;

9° D'offrir les mêmes chances de longue durée malgré la plus grande division de lames, parce que les éléments sont comprimés les uns contre les autres, ne laissent pas d'intervalles entre eux, et ont une surface extérieure encore plus réduite que dans les chaînes en barres;

10° D'être moins embarrassants et plus élégants.

En les comparant maintenant aux câbles en fils de fer, on trouve :

1° Qu'ils ne sont pas si attaquables par la rouille, parce qu'ils présentent une surface totale bien inférieure à celle des câbles en fils, et parce que ceux-ci, renfermant une grande quantité de vides, sont ainsi livrés à toutes les chances possibles de destruction. Les câbles en rubans au contraire sont faits d'une manière normale; la juxta-position des éléments est une garantie de leur conservation ;

2° Qu'ils forment des faisceaux dans lesquels les éléments sont également tendus ;

3° Qu'ils partagent la sécurité des faisceaux de fils de fer ;

4° Qu'ils s'approchent des câbles en fils sous le rapport de l'économie de premier établissement.

En résumé, par rapport aux *fils*, l'avantage réel, incontestable, c'est la durée.

Comparés aux chaînes en barres, on trouve : sécurité, économie, durée, élégance, légèreté.

PARIS. — IMPRIMERIE DE FAIN ET THUNOT,
IMPRIMEURS DE L'UNIVERSITÉ ROYALE DE FRANCE,
Rue Racine, 28, près de l'Odéon.

On trouve chez les mêmes Libraires :

CHALEY, *ingénieur constructeur*. Notice sur son **PONT SUSPENDU** de Fribourg en Suisse. in-8. 3e tirage. 1839. 3 fr.

EMMERY, *inspecteur divis. des ponts et chaussées*. **PONT D'IVRY** en bois, sur piles en pierre, traversant la Seine, près du confluent de la Marne. Détails *pratiques* sur ce pont. Projet, exécution, écritures, concession à terme. 1 vol. in-4 de texte, et atlas composé de 18 planches in-fol. gravées par Adam, 1832. 12 fr.

LEBLANC, *ingénieur en chef au corps royal des ponts et chaussées*. Description d'un **PONT SUSPENDU** de 198 mètres d'ouverture et de 39m,70c de hauteur au-dessus des basses mers, construit sur la Vilaine, **A LA ROCHE-BERNARD**, route de Nantes à Brest 1 vol. in-4 de texte accompagné d'un bel atlas in-folio. Paris, 1841. 20 fr.

LEFORT, *ingénieur des ponts et chaussées*. Études relatives à la construction des **PONTS BIAIS**, in-8 avec planches, 1839. 3 fr.

LE MOYNE (N.-R.-D.), *ingénieur en chef des ponts et ch.* Moyens faciles de parvenir à fixer les **CONDITIONS DE L'ÉTABLISSEMENT** des ponts suspendus, ou Renseignements sur les dispositions à adopter dans ces nouvelles constructions et tableaux de calculs que tout le monde peut effectuer pour connaître sur le champ la valeur et les dimensions des différentes parties qui les composent, avec une pl gravée, 1 vol in-4. 3 fr.

MARTIN, *ingénieur des ponts et chaussées*. Description du **PONT SUSPENDU** construit sur la Garonne, à Langon, département de la Gironde, suivie du détail des travaux exécutés pour sa construction, 1 vol. in-4, avec planches, 1832. 9 fr.

MÉRY, *ingénieur des ponts et chaussées*. Mémoire sur l'**ÉQUILIBRE DES VOUTES** en berceau. Broch. in-8 avec pl. Paris, 1840. 2 fr.

POLONCEAU (A.-R.), *inspecteur div. des ponts et chaussées*. Notice sur le nouveau système des **PONTS EN FONTE** suivi dans la construction du **PONT DU CARROUSEL**, description de ce pont dans tous ses détails, exemples comparés de divers projets, etc., etc.; texte in-4 grand-raisin, avec un atlas de 16 planches in-folio. 22 fr.

QUENOT (J.-P.), Mémoire sur le **PONT SUSPENDU EN FIL DE FER**, construit sur la Charente, à Jarnac, et détails de sa construction, accompagné de 14 planches. 1 vol. in-4., 1828. 5 fr.

SEGUIN aîné, *ingénieur civil*. Des **PONTS EN FIL DE FER**, ouvrage contenant toutes les données théoriques et pratiques sur leur construction, suivi d'un grand nombre d'expériences sur la force des fers, fils de fer, etc. 1 vol. in-4, avec planches, 2e édit. Paris, 1826. 5 fr.

VICAT (L.-J.), *ingénieur en chef des ponts et chaussées*. Description du **PONT SUSPENDU EN FIL DE FER** construit sur la Dordogne, à Argentat (Corrèze), aux frais de M. le comte Alexis de Noailles, etc., etc.; suivie de l'exposé des divers procédés employés pour la confection de câbles en fil de fer, pour le levage de ces câbles et du tablier, et terminée par une note sur quelques prix de main-d'œuvre, in-4. Paris, 1830. 4 fr. 50 c.

PARIS. — IMPRIMERIE DE FAIN ET THUNOT,
IMPRIMEURS DE L'UNIVERSITÉ ROYALE DE FRANCE,
RUE RACINE, 28, PRÈS DE L'ODÉON.